

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Návrh přípravku pro nájezdové plochy pro technologii 135-GMAW

Run-Out Plates Tools Design for 135-GMAW technology

Student:

Bc. Langmann David

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Ochodek Vladislav

Ostrava 2019

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Langmann**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh přípravku pro nájezdové plochy pro technologii 135-GMAW**
Run-Out Plates Tools Design for 135-GMAW Technology
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te charakteristiku technologie 135-GMAW.
2. Navrhněte přípravek pro nájezdové a výjezdové plochy pro technologii 135-GMAW.
3. Ověřte funkčnost přípravku na experimentálních zkušebních spojích.
4. Proved'te diskusi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:


HRIVŇÁK, I. *Teoria zvaritelnosti kovov a zliatin*. Veda 1989.
ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.
KOU, S. *Welding Metallurgy*, John Wiley & Sons, 1987.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladislav Ochodek**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019


Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 20. 5. 2019

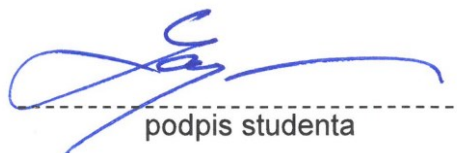


podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 20. 5. 2019



podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Langmann David

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Libina 769,
78805 Libina

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

LANGMANN, D. *Návrh přípravku pro nájezdové plochy pro technologii 135-GMAW: diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2019, 65 s. Vedoucí práce: OCHODEK, V.

Diplomová práce se zabývá návrhem přípravku pro zhotovení nájezdové plochy technologií svařování 135-GMAW. V teoretické části je popsána charakteristika technologie, možnosti a účel formování svaru v náběhových plochách. V dalších částech je popsán stav současné technologie svařování výložníků, zejména způsobu provedení příčných svarů. Dále návrh upínacího magnetického přípravku pro nájezdové a výjezdové plochy včetně samotného ověření v praxi na daném výrobku. Závěrem práce je vyhodnocení svařovacích parametrů na zkušebních výrobcích a jejich vliv na výsledné provedení svarového spoje společně s fotodokumentací, posouzení návratnosti přípravku, technicko-ekonomické vyhodnocení přínosu a soupis případných rizik navrhované změny svařování.

ANNOTATION OF DIPLOMA THESIS

LANGMANN, D. *Run-Out Plates Tools Design for 135-GMAW Technology: Diploma Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Machine Parts and Mechanisms, 2019, 65 p. Thesis head: OCHODEK, V.

The diploma thesis deals with the design of the preparation for the production of the Run-Out area by welding technology 135-GMAW. The theoretical part describes the characteristics of the technology, possibilities and purpose of forming the weld in the Run-Out area. The following sections describe the state of current welding technology of boom, especially the method of transverse welds. Furthermore, the design of the clamping magnetic fixture for Run-Out areas, including the actual verification in practice on the product. The conclusion of the thesis is the evaluation of welding parameters on the testing products and their influence on the final design of the weld joint together with photo documentation, assessment of the product return, technical-economic evaluation of the benefit and a list of potential risks of the proposed change of welding.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů	8
Úvod	9
1 Základní charakteristika technologie 135-GMAW.....	10
1.1 Svařovací zařízení	11
1.1.1 Svařovací zdroj.....	11
1.1.2 Podavač drátu	11
1.1.3 Svařovací hořák.....	12
1.2 Přenos kovu v oblouku	13
1.3 Ochranný plyn	14
1.4 Parametry a podmínky svařování	15
1.4.1 Svařovací napětí.....	15
1.4.2 Svařovací proud	17
1.5 Technika svařování technologie MAG	19
2 Možnosti a účel formování svaru v náběhových plochách	21
2.1 Trvalé nebo tavitelné podložky	22
2.2 Odnímatelné podložky	23
2.3 Svařování na tavidlovou podložku	25
2.4 Kořenový podklad	26
2.5 Svařování na nájezdových a výjezdových deskách	27
2.6 Rizika koncových vad ve svarovém spoji	28
3 Studie současného stavu svařování nájezdových ploch	30
3.1 Specifikace výrobku	30
3.2 Postup svařování výložníku rýpadla	33
3.2.1 Příprava svarových ploch	33
3.2.2 Předehřev před svařováním	34
3.2.3 Stehování	34
3.2.4 Svařování všeobecně	35
3.2.5 Postup svařování	35
3.2.6 Kontrola svarů	41
4 Návrh přípravku a realizace změny svařování výběhů svarů	42
4.1 Konstrukce magnetického upínacího přípravku	42
4.1.1 Magnetický držák.....	43
4.1.2 Čelní deska	44
4.1.3 Horní deska	45
4.1.4 Vedení	46
4.1.5 Hrot.....	46
4.2 Realizace změny navrhovaného postupu svařování	47
4.2.1 Postup zhotovení příčných svarů.....	48
4.2.2 Fotodokumentace prvotního testování ve výrobě	50
4.2.3 Fotodokumentace při ostrém testování ve výrobě	51
4.3 Parametry svařování	53
4.4 Konečná úprava svaru a NDT kontrola	53

5	Technické a ekonomické vyhodnocení navrhované změny	54
5.1	Materiálové posouzení	54
5.2	Posouzení pracnosti	55
5.3	Ekonomický přínos navrhované změny technologie	57
5.4	Posouzení návratnosti	59
5.5	Vyhodnocení přínosů a případných rizik navrhované technologie	61
5.5.1	Přínosy	61
5.5.2	Rizika.....	62
6	Závěr.....	63
7	Seznam použité literatury	64
8	Seznam příloh.....	65

Seznam použitých značek a symbolů

Symbol	Význam	Jednotky
a.s.	Akciová společnost	-
Ar	Množství argonu	[%]
Al	Množství hliníku	[%]
C	Množství uhlíku	[%]
ČSN	Česká technická norma	-
ČSN EN	Česká verze evropské normy	-
GMAW	Gas Metal Arc Welding (Obloukové svařování tavící se elektrodou)	-
Fe	Množství železa	[%]
He	Množství helia	[%]
I	Svařovací proud	[A]
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro normalizaci)	-
MAG	Metal-Arc Active Gas Welding (obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu)	-
MIG	Metal-Arc Inert Gas Welding (obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu)	-
MMA	Manual Metal Arc Welding (ruční obloukové svařování obalenou elektrodou)	-
MT	Magnetická kontrola	-
NDT	Nondestructive testing (nedestruktivní kontrola svaru)	-
O	Množství kyslíku	[%]
Q	Tepelný příkon	[kJ.mm ⁻¹]
SAW	Submerged Arc Welding (svařování pod tavídkem)	-
Si	Množství křemíku	[%]
TDP	Technicko-dodací předpis	-
Ti	Množství titanu	[%]
TIG	Tungsten Inert Gas Welding (obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu)	-
U	Napětí	[V]
v _s	Rychlost svařování	[cm/min]
VT	Vizuální kontrola	-
WPS	Specifikace postupu svařování	-

Úvod

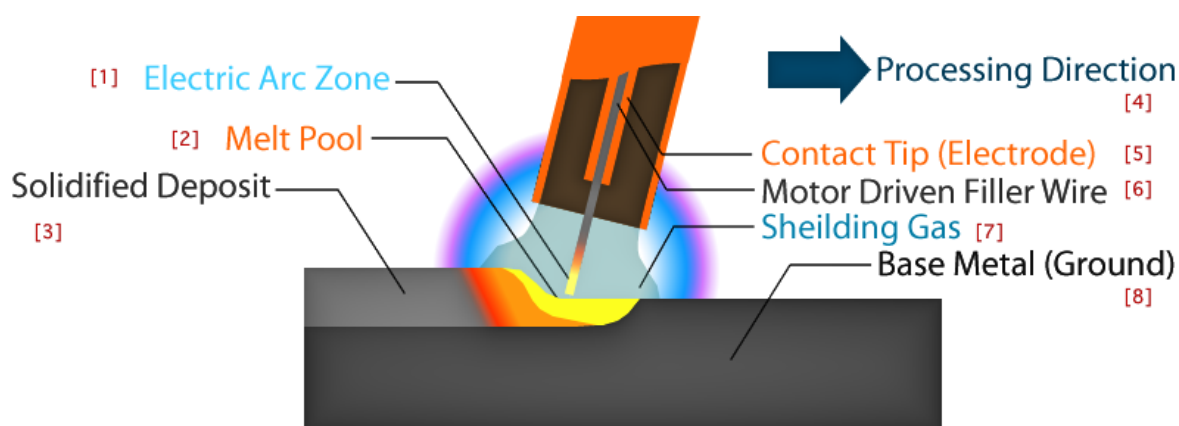
Strojírensko-metalurgická skupina UNEX a.s. patří mezi světově uznávaného výrobce kolesových rypadel a zkušeného dodavatele jednotlivých komponentů těžkého strojírenství. Je dlouhodobým partnerem předních světových průmyslových korporací a také patří mezi největšího zaměstnavatele v olomouckém regionu. Již více než 70 let se podílí na tradici československého těžkého strojírenství. Dlouhodobé zkušenosti a odbornost pracovníků, společně s moderními technologiemi, řadou těžkých obráběcích strojů a rozsáhlé výrobní prostory, patří mezi hlavní přednosti společnosti. Díky vlastním strojírnám, lakovnám, slévárnám a kovárně je schopna dodávat široky sortiment těžkých ocelových konstrukcí včetně montáže, finálně opracovaných odlitků a výkovků. Ve třech závodech v Uničově, Olomouci a slovenské Snině pracuje na dva tisíce zaměstnanců. Společnost většinu své produkce až 80 % exportuje do celého světa [1].

Současné trendy výroby směřují stále více k odstranění ztrátových časů a zvyšování samotné výkonnosti. Mezi tyto oblasti řadíme i technologicky proces svařování, při kterém vznikne nerozebíratelný svarový spoj s určitými požadovanými vlastnostmi. Těchto vlastností se snažíme docílit tak, aby vyhověli technickým a technologickým požadavkům stanovených příslušných norem dle zadání na výrobu daného dílce. Svařování je zvláštní proces, při kterém hrozí riziko vzniku vady, která může mít v konečném důsledku významný dopad. Obecně lze vady ve svarech klasifikovat jako nebezpečné koncentrátoři napětí, které významně ovlivňují hodnotu meze únavy. Následně se tyto koncentrátoři napětí mohou za určitých podmínek stát iniciátory křehkého lomu. Jedna z oblastí, která patří mezi rizikové, je svařování začátků a konců svarových spojů.

Touto oblastí se zabývá tato diplomová práce a to u konkrétní skupiny svařenců výložníků rypadel. Jsou zde charakterizovány způsoby a možnosti provedení. Návrh na změnu místo ze současné technologie svařování do ocelových nájezdových a výjezdových desek používané pro výběhy svarů, na svařování výběhů do keramických podložek za pomoci navrženého magnetického upínacího přípravku. Přípravek je podroben ověření funkčnosti, které je zaznamenáno včetně fotodokumentace a záznamu parametrů. Dále je provedeno vyčíslení nákladů a přínosů navržené změny technologie. Závěrem jsou posouzené případná rizika a možnosti aplikace na další výrobky podobného konstrukčního charakteru.

1 Základní charakteristika technologie 135-GMAW

Metoda obloukového svařování tavící se elektrodou v ochranné atmosféře aktivního plynu MAG (GMAW - Gas Metal Arc Welding) patří v celosvětovém měřítku k nejčastěji využívaným metodám svařování ve strojírenském průmyslu. Používá se pro svařování nelegovaných a nízkolegovaných ocelí z důvodu vzniku kvalitního svarového spoje a výborné ochrany proti nepříznivým účinkům atmosféry na spoj ve fázi tuhnutí. Mezi další výhody patří široký výběr přídavných materiálů a ochranných plynů, snadná možnost mechanizace a robotizace, velký sortiment vyráběných svařovacích zařízení a především významné výhody samotné technologie svařování.



1 - elektricky oblouků, 2 - tavící lázeň, 3 - sekundární materiál, 4 - směr svařování, 5 - kontaktní špička, 6 - tavící se elektroda poháněná motorem, 7 - ochranný plyn, 8 - základní materiál (uzemnění)

Obr. 1 - Princip svařování tavící se elektrodou MIG/MAG [2].

Metoda svařování MAG je založena na hoření oblouku mezi tavící se elektrodou ve formě drátu a základního materiálu v ochranné atmosféře aktivního plynu. Napájení drátu elektrickým proudem je zajištěno třecím kontaktem v ústí hořáku tak, aby elektricky zatížená délka drátu byla co nejkratší. Podávání drátu z cívky je zajištěno podávacími kladkami, které jsou umístěny v podavači. Proudová hustota je u MAG ze všech obloukových metod svařování nejvyšší (až 600 A.mm⁻²). Svařovací proudy se během svařování tenkých plechů drátem o průměru 0,6 ÷ 0,8 mm pohybují od 30 A až do 800 A u vysokovýkonných mechanizovaných metod svařování. Na jednotlivých parametrech svařování a ochranném plynu závisí charakter přenosu kovu obloukem. Pro tenké základní materiály je běžný zkratový přenos a pro větší tloušťky sprchový přenos [3].

U vysokých proudů se mění charakter přenosu kovu obloukem. Vlivem elektromagnetických sil se dosahuje rotujícího oblouku. Teplota kapek se při MAG svařování pohybuje v rozmezí $1700 \div 2500$ °C a teplota tavné lázně se v závislosti na technologii, parametrech svařování, chemického složení a vlastnostech materiálu pohybuje mezi 1600 až 2100 °C. Ochranný plyn se volí podle druhu svařovaného materiálu, který zároveň ovlivňuje také přenos kapek v oblouku, rozstřík, rozsah chemických reakcí a teplotní poměry v oblouku [3].

1.1 Svařovací zařízení

1.1.1 Svařovací zdroj

Pro svařování metodou MIG/MAG se používají zdroje se stejnosměrným výstupem proudu, kde je kladný pól zdroje připojen na drátovou elektrodu. Nové metody mohou kombinovat i střídavý charakter proudu s využitím usměrňovače. Převážně se jedná o invertory různých výkonových vlastností. Tyto zdroje mají plochou statickou charakteristiku s tzv. konstantním napětím a se samoregulační schopností udržování konstantní délky oblouku a zároveň i napětí na oblouku. Podmínkou pro realizaci svařování metodami MIG/MAG je zaručení optimální délky oblouku po dobu celého procesu svařování. Této podmínky lze docílit tak, že rychlost podávání drátu se rovná rychlosti odtavování. Tuto podmínku však nelze z praxe vždy splnit. Pro její dodržení se využívá tzv. regulačních systémů délky oblouku, které jsou zpravidla založeny na samoregulaci délky oblouku svařovacím zdrojem, nebo na speciálních elektronických systémech [3].

1.1.2 Podavač drátu

Svařovací přídatný drát je během svařování MIG/MAG nepřetržitě podáván do hořáku pomocí podavače, který zaručuje rovnoměrné podávání drátu bez jeho deformace a případného poškození povrchu. Tuto funkci zajišťuje podávacím mechanismem s pohonem drátu jednokladkovým, dvoukladkovým, čtyřkladkovým nebo s mimoběžnými osami. Dle podávaného drátu mohou mít podávací kladky rozdílné typy drážek [3].

1.1.3 Svařovací hořák

Svařovací hořák zabezpečuje při svařování přívod drátu do místa svařování, včetně jeho napájení elektrickým proudem a laminární proudění ochranného plynu. Při nízkých příkonech jsou hořáky ochlazovány procházejícím ochranným plynem. Při vyšších výkonech se používá tzv. nucené chlazení proudící kapalinou neboli destilovanou vodou v uzavřeném chladícím okruhu [3].

Hořáky se rozdělují na strojní s válcovou upínací částí a ruční s rukojetí pro pevné vedení hořáku samotným svářečem. Hořáky jsou vybaveny hubicí ve tvaru trubky, kde je na konci umístěn kontaktní průvlak pro napájení drátu proudem, vyústění trubky pro přívod ochranného plynu a plynová tryska. Kontaktní proudový průvlak (svařovací špička) je nejčastější spotřební výměnná část hořáku, která má za účel rovnoměrné napájení drátové elektrody svařovacím proudem. Je vyrobena ze slitiny mědi, z důvodu elektrické vodivosti a tato slitina je legována chromem pro zvýšení odolnosti proti opotřebení. Vedený průměr drátu musí být v porovnání se špičkou o 0,2 mm menší, a to pro optimální kontakt napájení svařovacím proudem. Při velkém opotřebení dochází k nepravdělnému napájení proudem, a tím k vychýlení vedení drátu ve svarovém úkosu, které je ve většině případu nežádoucí [3].

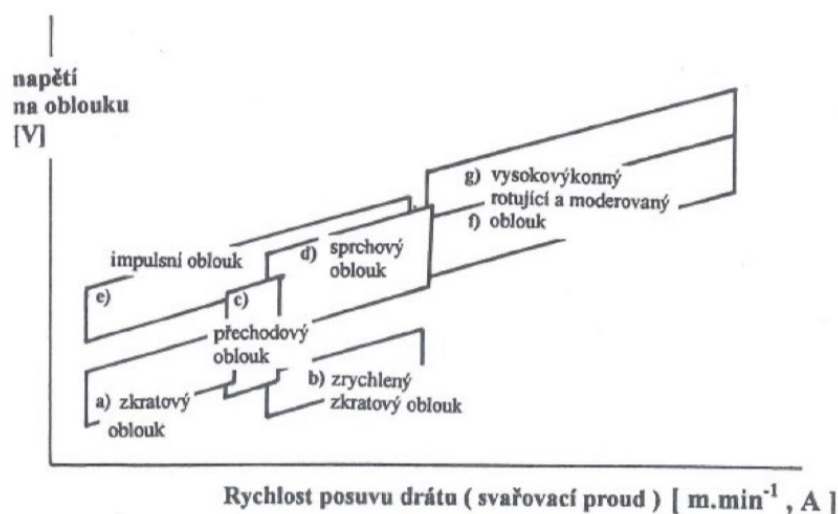
Spouštění svařovacího proudu se ovládá spínačem na rukojeti a řada moderních zdrojů má zde umístěno také plynulé ovládání intenzity svařovacího proudu pomocí potenciometru nebo tlačítkem. Některé hořáky mají kolem plynové trysky soustředně umístěnou další trysku pro lokální odsávání zplodin přímo z místa svařování [3].



Obr. 2 - Fronius - Svařovací hořák Transsteel TPS/i chlazené vodou (foto z výrobního provozu).

1.2 Přenos kovu v oblouku

Přenos kovu v oblouku je základní charakteristikou svařování elektrickým obloukem tavící se elektrodou. Je závislý na dvou základních svařovacích parametrech a těmi jsou elektrické napětí a proud (Obr. 3). Další ovlivňující parametry přenosu kovu jsou přídatný materiál, ochranný plyn a samotná technologie svařování. Jednotlivé typy přenosu kovu v oblouku jsou uvedeny v *tabulce 1* [3].



Obr. 3 - Rozdělení oblastí přenosu kovu v oblouku [3].

Tabulka 1 - Typy přenosu kovu v oblouku [3].

Typ přenosu	Rozsah svařovacího proudu	Rozsah svařovacího napětí	Využití	Výhody / nevýhody
Krátký oblouk se zkratovým přenosem	60 až 180 A	14 až 22 V	Svařování tenkých plechů, kořenových vrstev tupých svarů, polohových svarů a pro svařování vysokolegovaných ocelí.	Výhody: Menší vnesené teplo do svarového spoje.
Krátký oblouk se zrychleným zkratovým přenosem	nad 200 A	14 až 25 V	Svařování tenkých plechů od tloušťek 1 mm, kořeny svarů i polohové svary.	Výhody: bez ulpění kapek na povrchu svařovaného materiálu, dobrý rozstřík a profil svarových housenek.
Přechodový dlouhý oblouk s nepravidelnými zkraty	190 až 300 A	22 až 28 V	Uplatnění nachází při svařování středních tloušťek.	Nevýhody: velký rozstřík, kapky vymrštěné mimo osu drátu, hrubá svarová housenka.
Dlouhý oblouk se sprchovým bezzkratovým přenosem	200 až 500 A	28 až 40 V	Zejména při svařování výplňových housenek svarů středních a velkých tloušťek.	Výhody: Vysoký výkon navaření; hladký, čistý a plynulý přechod, s mín. rozstříkem. Nevýhody: Rychlejší ohřev drátu; velké množství vneseného tepla.
Impulsní bezzkratový přenos	80 až 310 A	20 až 50 V	Při svařování hliníku a jeho slitin i vysokolegovaných ocelí.	Výhody: nižší vznesené teplo do svarového spoje
Moderovaný bezzkratový přenos	450 až 750 A	40 až 50 V	Při svařování velkých tloušťek základního materiálu.	Výhody: hluboký a široký svar
Dlouhý oblouk s rotujícím přenosem kovu	450 až 750 A	až 65 V	Při svařování velkých tloušťek základního materiálu při větší volné délce drátu až 20 mm.	Výhody: hluboký a široký svar s výrazným miskovitým profilem

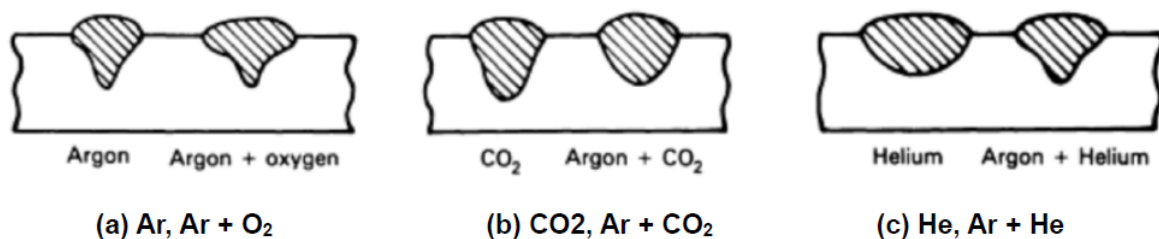
1.3 Ochranný plyn

Ochranné plyny jsou velmi důležitou součástí metody tavného svařování. Jejich hlavním úkolem je ochrana tavné lázně před vlivy vnějšího prostředí – přítomnost vzduchu, která způsobuje oxidaci a nitridaci svarového kovu a také výrazně zhoršuje mechanické vlastnosti svarového spoje. Díky své ionizační schopnosti umožňují ochranné plyny stabilní hoření elektrického oblouku a přispívají tak k přenosu tepelné energie do svaru. Svým složením a % množstvím ovlivňují celou řadu svařovacích charakteristik. Jedná se zejména o způsob přenosu svarového kovu obloukem, hloubka závaru a profil svaru, množství rozstříku, rychlost svařování a stabilita elektrického oblouku [3].

Při MAG svařování se nejčastěji používá ochranný plyn čistý oxid uhličitý CO_2 nebo v současnosti používané vícesložkové směsné plyny se základem argonu, např. $\text{Ar} + \text{O}_2$. Čistota plynů a přesnost míchání je v souladu s normou ČSN EN ISO 14175.

Tabulka 2 - Nejpoužívanější ochranné plyny při svařování MAG [3].

Označení plynu	Základní charakteristika	Využití	Výhody / nevýhody
Oxid uhličitý CO_2	Bezbarvý, nehořlavý a nejedovatý plyn slabého zápachu s výraznými oxidačními vlastnostmi; bod varu je $-78,45^\circ\text{C}$; hustota $1,976 \text{ kg.m}^3$	Při svařování v běžných polohách PA, PB a PC.	Výhody: dobré natavení svarových hran; hluboký průvar s oválným profilem svarové housenky; dobré odplynění svarové lázně.
Kyslík O_2	Nehořlavý ale podporuje oxidační hoření; hustota $1,492 \text{ kg.m}^3$; výroba destilací zkapalněného vzduchu	Používá se ve směsi s argonem a oxidem uhličitým, případně heliem	Výhody: zvyšuje tekutost svarové lázně a povrchové napětí roztaveného kovu; zlepšuje odplynění svarové lázně, hladký profil svarové housenky a přechod svarového kovu.
Argon Ar	Jednoatomový, bezbarvý inertní plyn, nevytváří chemické sloučeniny, dobrá tepelná vodivost.	Při svařování všech svařitelných materiálů především z důvodu nízké cenové dostupnosti.	Výhody: vysoká stabilita při velké délce oblouku, velmi dobré schopnosti ochrany při základní poloze PA.
Směsné plyn $\text{Ar} + 8\% \text{ CO}_2$	Optimální pro impulsní a sprchový přenos kovu obloukem; vyznačuje se vysokou rychlostí svařování.	Při vysokých proudech a výkonech svařování; použití pro ruční i mechanizované svařování různých tlouštěk základního materiálu.	Výhody: nízký rozstřík a minimální tvorba strusky.
Směsné plyn $\text{Ar} + 5 \text{ až } 13\% \text{ CO}_2 + 5\% \text{ O}_2$	Zajišťuje klidný svařovací proces s měkkým elektrickým obloukem s výsledkem hladkých a čistých svarových spojů.	Při mechanizovaných a robotizovaných způsobech svařování malých a středních tlouštěk.	Výhody: Vyšší obsah kyslíku zajišťuje dobrou tekutost lázně a odplynění; sprchový přenos může probíhat i při nižším svařovacím proudu.



Obr. 4 - Vliv směsi ochranného plynu na profil svaru [4].

1.4 Parametry a podmínky svařování

Mezi základní parametry, které při MIG/MAG svařování nejvíce ovlivňují tvar a rozměry svarů jsou svařovací proud (I), svařovací napětí (V) a rychlost svařování (v_s). Tyto základní parametry ovlivňují při svařování tepelný příkon (Q), který určuje množství vneseného tepla na jednotku svaru v $J.mm^{-1}$.

Mezi další veličiny, které ovlivňují výsledný tvar, a rozměr svarů patří:

- druh a průměr drátu,
- polarita na elektrodě,
- výlet drátu,
- sklon svař. hořáku,
- druh a množství ochranného plynu,
- tvar a rozměry svarových ploch,
- druh přenosu kovu v oblouku,
- teplota předehřevu základního materiálu,
- směr svařování [3].

Při svařování MIG/MAG se používá výhradně stejnosměrný proud a nepřímá polarita. Vzdálenost hořáku od povrchu svařovaného materiálu je při ručním svařování nutné udržovat v rozsahu 15 až 25 mm, podle průměru dýzy a typu svarového spoje. Délka oblouku při svařování zkratovým přenosem je cca 3 mm, při svařování dlouhým obloukem je přibližně 6 mm [3].

1.4.1 Svařovací napětí

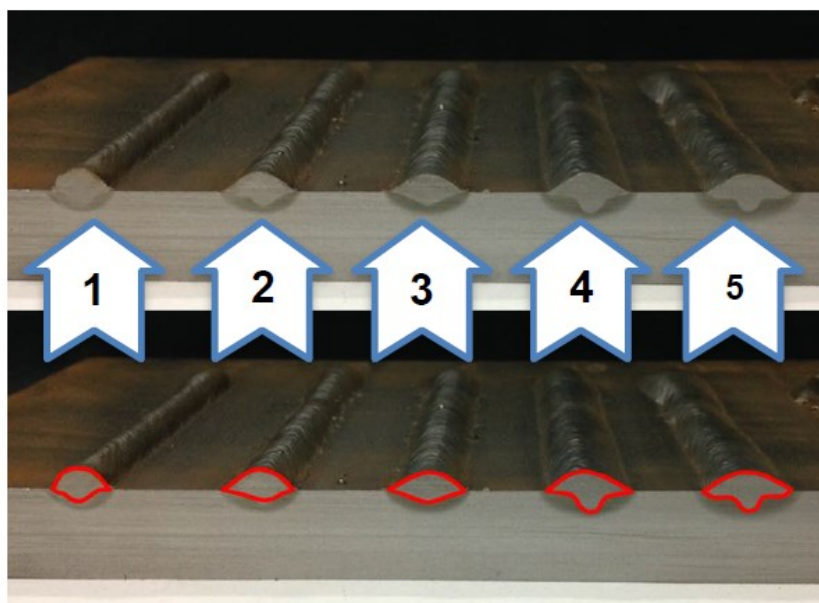
Napětí na oblouku představuje potenciální rozdíl mezi drátem elektrody a povrchem svarové lázně, které se mění podle délky oblouku. Napětí při svařování má vliv na šířku svarové housenky. Hloubku závaru ovlivňuje napětí jen minimálně. Napětí na oblouku má důležitý vliv na dosažení optimálních podmínek samoregulace délky oblouku a ustálení pracovního bodu. Napětí se může měnit pouze v omezeném rozsahu a má výrazný vliv na typ přenosu kovu v oblouku [3].

a) Nadměrně vysoké napětí

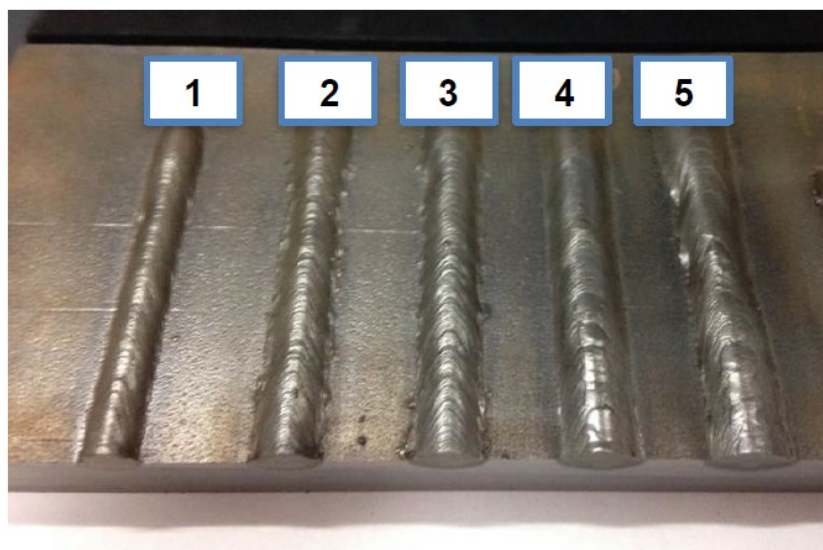
- Při nadměrně vysokém napětí se zvyšuje délka oblouku a propal jednotlivých prvků. Svarová lázeň je široká a proto jsou svarové spoje náchylné na pórovitost a zvyšuje se i rozstřík. Je zde velké riziko předbíhání svarové lázně před oblouk. Mimo základní polohy svařování se tavná lázeň obtížně ovládá [3].

b) Nízké napětí

- Zpravidla je příčinou nestabilního procesu, úzkých housenek s velkým převýšením při velkých rychlostech svařování. Nevýhodou nízkého napětí je nedokonalé natavení svarových hran a při vícevrstvě svařování dochází k výskytu studených spojů [3].



Obr. 5 - Závislost tvaru svarové housenky na napětí v řezu [5].



Obr. 6 - Závislost tvaru svarové housenky na napětí z horního pohledu [5].

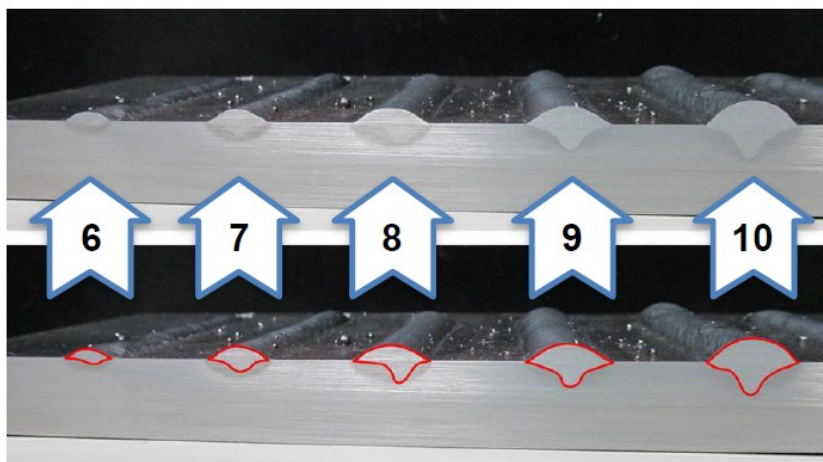
Tabulka 3 - Svařovací parametry (vyobrazeno na Obr. 5, 6) [5].

Číslo svaru	Cílené parametry napětí (U)	Reálné odsledované napětí (U)	Reálný odsledovaný proud (I)
1	18 V	18 V	177 A
2	21 V	21,1 V	174 A
3	23 V	22,7 V	173 A
4	26 V	26 V	185 A
5	30 V	30,1 V	208 A

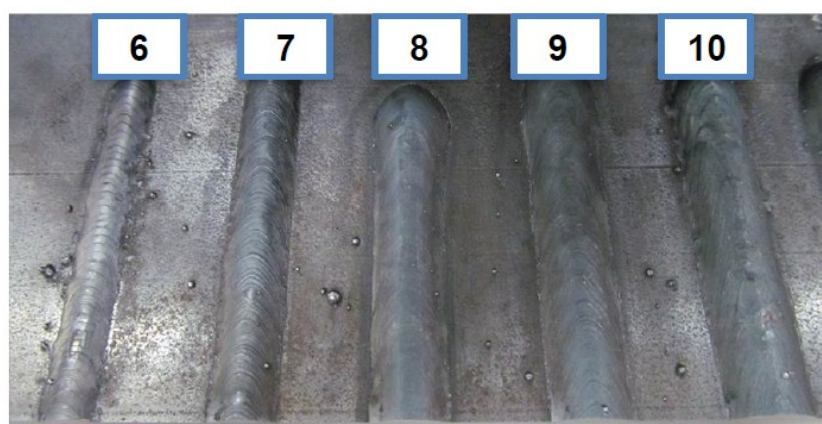
1.4.2 Svařovací proud

Na charakter přenosu kovu při svařování a výsledný tvar průřezu svarové housenky má největší vliv svařovací proud, kdy s růstem proudu roste proudová hustota, velikost a tekutost lázně a celkový výkon odtavení. Při zachování stejné hodnoty napětí na oblouku se při zvyšování hodnoty proudu výrazně zvětšuje hodnota hloubky závaru neboli průvaru svaru s nepatrným dopadem na šířku housenky a převýšení svaru. Svařovací proud výrazně ovlivňuje charakter přenosu kovu v oblouku. Zvyšující se hodnotou proudu roste frekvence odvádějících svarových kapek v tekuté lázni a zároveň u běžných typů přenosů kovu se zmenšuje jejich objem. Intenzita proudu podle složení ovlivňuje síly, které působí na kapky kovu při přenosu [3].

Nastavení svařovacího proudu se provádí před samotným zahájením svařováním dle parametru stanovených ve WPS, které mají být nedílnou součástí dokumentace ve výrobě. Pro docílení požadované kvality svaru je vhodnější používat menší průměry svařovacího drátu, jelikož se při svařování odvádí větší počet drobnějších kapek, čímž se docílí lepšího vizuálního povrchu svarové housenky.



Obr. 7 - Vliv svařovacího proudu na tvar svarové housenky v řezu [5].



Obr. 8 - Vliv svařovacího proudu na tvar svarové housenky horní pohled [5].

Tabulka 4 - Svařovací parametry (vyobrazeno na Obr. 7, 8) [5].

Číslo svaru	Cílené parametry proudu (I)	Reálný odsledovaný proud (I)	Reálně odsledované napětí (U)
6	100 A	111 A	24,5 V
7	150 A	162 A	24,7 V
8	175 A	193 A	24,8 V
9	200 A	212 A	24,9 V
10	250 A	254 A	25 V

1.5 Technika svařování technologie MAG

Při ručním svařování můžeme svařovat dvěma směry, a to směrem vpřed nebo vzad. Při mechanizovaném či automatizovaném svařování bývá směr hořáku zpravidla v kolmé poloze k rovině svarového spoje. Kořenové svarové housenky se svařují s přímým vedením hořáku a výplňové svarové housenky můžeme svařovat s příčným nebo i podélným rozkyvem hořáku. Při rozkyvu hořáku roste velikost tavné lázně, zlepšuje se odplynění svaru, ale zároveň se negativně zvětšuje množství vneseného tepla do svarového spoje [3].

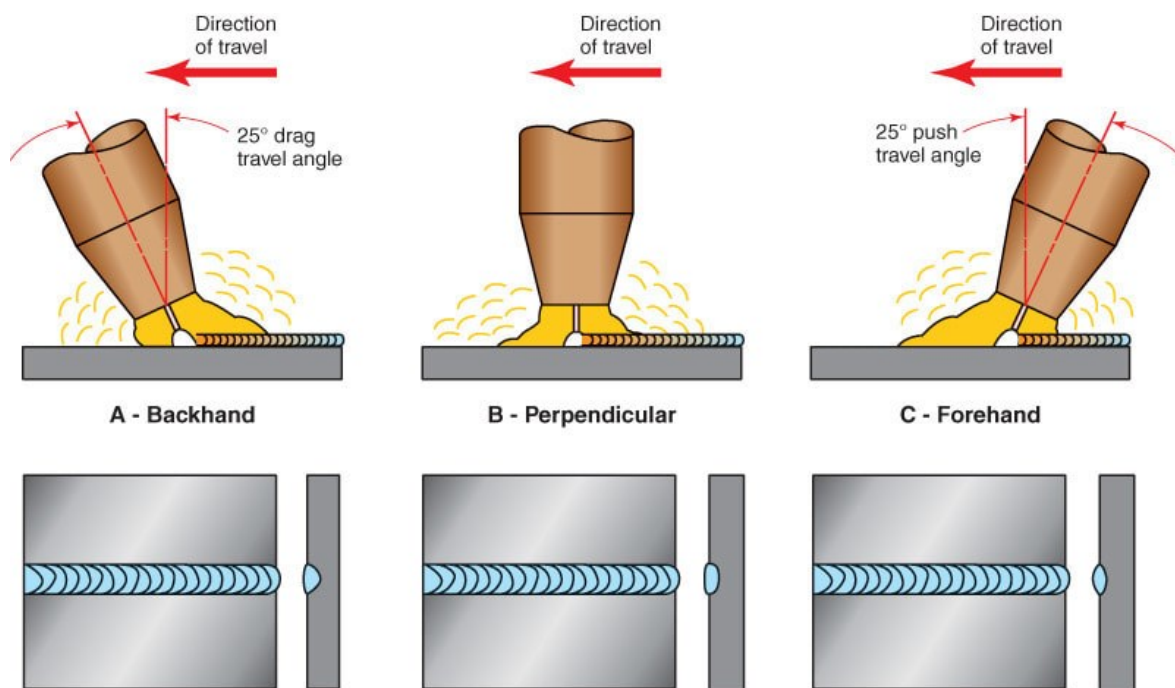
Sklon hořáku a jeho vedení

a) Svařování vzad

- Tato metoda má ve srovnání s metodou vpřed při svařování stabilnější elektrický oblouk s větší hloubkou průvaru, nevýhodou je však větší převýšení svaru, které mnohdy není žádoucí. Svarová lázeň je déle tekutá, což v praxi vede ke snížení rizika vzniku pórů, studených spojů a neprůvarů. Nevýhodou je, že při svařování touto metodou hubice hořáku zakrývá výhled svářeči do úkosu. Její využití se uplatňuje při svařování krycích vrstev tupých svarů a při svařování materiálů větších tloušťek. Není vhodná pro svařování kořene svaru – nebezpečí propadnutí svarové lázně. Dále se při svařování koutového svaru vyskytuje velké převýšení a případně i vruby [3].

b) Svařování vpřed

- Při této metodě má svářeč dokonalý výhled do úkosu a může velmi dobře ovládat tekutou lázeň v kořeni svaru. Docílí se optimálního předeřevu svarových ploch a větší šířky housenky s nižším převýšením. Úhel hřbetu hubice poskytuje zároveň nejhlubší průvar. Nevýhodou je, že hubice hořáku zakrývá výhled svářeči na housenku. Navíc rychle tuhnoucí svar je náchylný na pórovitost a může docházet i k předbírání svarové lázně a tím mohou vznikat tzv. studené spoje. Tato metoda se využívá zejména při svařování tenkých plechů, kořenových svarů i na běžné svářečské práce [3].



Legenda: "Direction of travel" - Směr svařování; "25° drag travel angle" - 25° úhel sklon hubice; "A - Backhand" - svařování vzad; "B - Perpendicular" - svařování kolmé; "C - Forehand" svařování vpřed; "25° push travel angle" - úhel sklonu hubice.

Obr. 9 - Technika svařování - vliv úhlu sklonu hořáku na svarovou housenku [6].

2 Možnosti a účel formování svaru v náběhových plochách

Při svařování existují konstrukční uzly, které nedovolují svým přístupem svařování z obou stran. Při svařování vzniká velký objem roztaveného kovu, který zůstává tekutý po určitou dobu. Proto u některých svarových spojů, které mají přístup pouze z jedné strany, je nutné zajistit podepření z nepřístupné strany.

Při ručním svařování elektrodou a TIG-em z jedné strany, je maximální průvar svaru do 3 mm. Při použití technologie MAG s vysokým proudem lze dosáhnout průvaru až 6 mm. U silnější tloušťky materiálu se musí zhotovit úkosy, které zajistí přístup pro svařovací hořák. Mezi nejčastější přípravy svarových spojů patří tzv. 1/2V svary [7].

Při svařování je důležité, aby po celou dobu procesu měl svářeč úplnou kontrolu svarové lázně. Svarová mezera je faktorem, který významně ovlivňuje konzistenci průniku svarového kovu. Velká mezera způsobuje nadměrný průnik svarové lázně, naopak příliš malá způsobuje nedostatečný průnik. Pro zhotovení spoje požadované kvality je zapotřebí dostatečné úrovně dovednosti svářeče [7].

Pro eliminaci chyb z titulu nedostatečné zručnosti svářečských pracovníků, byly vyvinuty metody formování kořene tavné lázně z lící strany svaru. Pokud je přístup k protilehlé (lící) části spoje, může být profil housenky obroben nebo zabroušen na přijatelný tvar (hladký, plochý, souvislý povrch). Také může být kořenová housenka vybroušena a položen nový kořen. Nelze-li se dostat na zadní stranu svarového spoje, je jedinou alternativou, zajistit hladký, plochý a bezvrubý svar, který by neměl vést ke korozi nebo k únavové trhlině. K dispozici existují způsoby podkladů pro zajištění mechanické podpory a zabránění znečištění kořene [7].

Existují tyto způsoby podložek:

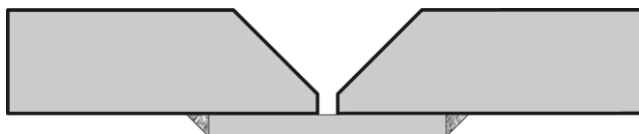
- a) Trvalá nebo tavitelná,
- b) dočasná odnímatelná,
- c) tavidlová podložka,
- d) svařování na zámek,
- e) podložení kořene.

2.1 Trvalé nebo tavitelné podložky

Trvalá podložka je po svaření svařovaného spoje součástí konstrukce. Mezi způsoby provedení patří svařování na ocelovou podložku nebo svařování do keramické podložky upevněné v tenkostěnném U-profilu. Tavitelná podložka se po roztavení stává součástí spoje stejného složení [7].

a) Svařování na ocelovou podložku

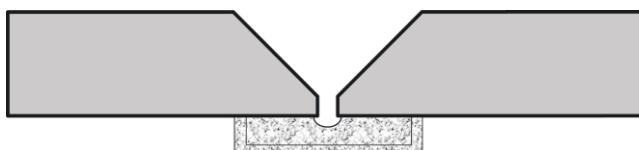
Ochrana a tvarování svarové housenky je zajištěna trvalým připevněním podložky stejného materiálu, který je svařován. Toto řešení není finančně náročné, snadno se aplikuje a nevyžaduje speciální dovednosti. Ocelová podložka se stává trvalou součástí spoje. To může být nežádoucí z estetického hlediska v závislosti na daném výrobku. Hlavním nežádoucím jevem je, že představuje únavový vrub svaru. Tento typ svarového spoje je rovněž nežádoucí u svarových spojů těch konstrukcí, kde dochází např. k proudění plynů nebo vody, kvůli možnému zachycení a narušení toku [7].



Obr. 10 - Svařování na ocelovou podložku [7].

b) Svařování na keramický pás v kolejnici

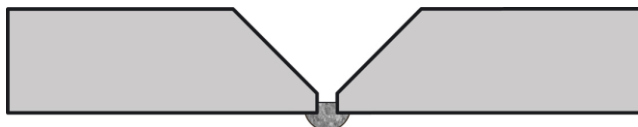
Keramické podložky jsou vyrobeny z keramického materiálu odolného vůči vysokým teplotám, z různých minerálních směsí (např. Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2). Když se roztaví, vytvoří sklovitou strusku, která tvoří spodní stranu svarového spoje a zabraňuje vniknutí vzduchu. Ve svarové lázni jsou chemicky neutrální. Keramické podložky jsou k dispozici jako jednotlivé keramické segmenty (~ 100 až 150 mm dlouhé) pro umístění do kovových kolejnic, které jsou následně přistěhovány ke svařenci, připevněny za pomoci magnetů nebo jiných přípravků [8]. Používá se při svařování technologií SAW, GMAW, MMA. Struska je tvořena uvnitř vybrání podložek, chrání a tvaruje vnější lem [7].



Obr. 11 - Svařování na keramický pás v tenkostěnném U-profilu [7].

c) Svařování na tavitelnou podložku

Tavitelné tvarové podložky jsou k dispozici v řadě materiálů pro zajištění stejných vlastností se svarovým kovem. Během svařování kořenové vrstvy se podložka roztaví do svarové lázně. Tato technika produkuje konzistentní kořenový profil. Standardní tvarové podložky zahrnují běžné třídy nerezové oceli, ale i některé slitiny niklu [7].



Obr. 12 - Svařování na tvarovou tavitelnou vložku [7].

2.2 Odnímatelné podložky

Jedná se o takové provedení, při kterých je svarová housenka podepřena, ale nedochází k roztavení podložky.

a) Svařování na keramickou podložku

Obdobné jak bod b) v kap. 2.1, ale s tím rozdílem, že keramické podložky jsou k dispozici jako keramické bloky (~ 20 mm dlouhé) na flexibilní hliníkové fólii s přílnavou hranou, kterou lze přilepit na spodní stranu svarového spoje [8]. Keramický pás se obvykle přilepí pomocí lepící pásky, která je jeho součástí, na lícni stranu svarového spoje [7].

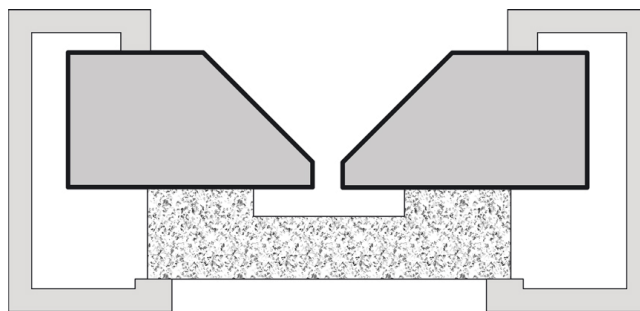


Obr. 13 - Svařování na keramický pás - různá provedení keramických podložek [8].

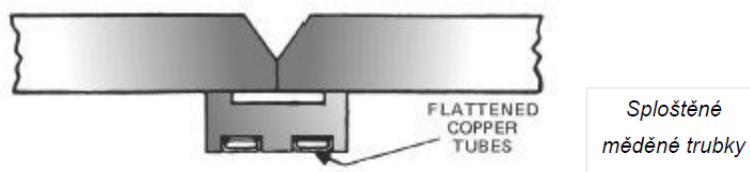
b) Svařování na měděnou podložku

Takové podklady jsou často vyrobeny z mědi. Používá se pro kvalitní provedení obvykle tupého svaru (svary s větší svarovou mezerou, tenčí plechy svařované z jedné strany, apod.). Měděná podložka musí mít dostatečné rozměry pro zajištění odvodu tepla, anebo je nutné provést její chlazení vodou. Obecně lze uvažovat s použitím tohoto způsobu při svařování do tloušťky 5 mm. Při svařování menších tloušťek základního materiálu je nutno předem provést ověřovací zkoušku. Měděná podložka musí být v průběhu celého procesu svařování k základnímu materiálu - kořenu svaru - dotahována, aby se zabránilo tomu, že svarový kov proteče mezi ní a svarovým spojem. Nejvhodnějším způsobem je použití tzv. "koňů". To jsou podložky ve tvaru U, přistehovaných kolmo k základnímu materiálu zespodu, s roztečí cca 250 mm. Měděná podložka pod kořenem svaru je vůči "koňům" přitlačována pomocí klínů [9].

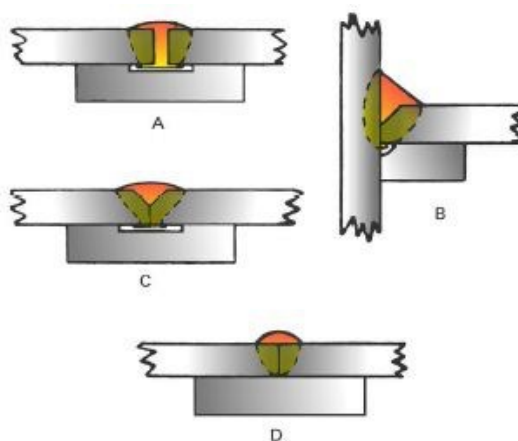
Měď je extrémně dobrým tepelným vodičem. Rychle ochlazuje roztavený svarový kov a zajišťuje tak podporu svarového kovu bez toho, aby se tavila se svarovým kovem. Byly provedeny zkoušky o nahrazení slitin mědi, hliníku a slitin hliníku místo čisté mědi, ale výsledky byly neuspokojivé v kvalitě vyráběného svaru. Tyto náhrady mají znatelně nižší tepelnou vodivost a tavnou teplotu. Nemohou tedy odolávat vysokým teplotám svařování. Životnost měděného nosného podkladu závisí na péči při jeho použití, zejména při ochraně proti mechanickému poškození a proti přehřátí v důsledku špatného nasazení spoje. Pokud se kontaktní povrchy (drážky, zahloubení) opěrného dílu znehodnotí, mohou být provedeny opětovným obrobením. Podkladový kus není vhodné příliš často opracovávat, jelikož následně neposkytuje požadovaný chladicí efekt z důvodu zeslabování materiálu. Pokud je měděný podklad nadměrně zahříván, má tendenci se deformovat, což má za následek menší odolnost proti otěru. Jedním z nejčastějších příčin nadměrného zahřívání je špatná montáž spoje, která umožňuje, aby se nadměrné množství roztaveného kovu dostalo do kontaktu s měděným podkladem. Při opakovaném používání měděného podkladu je doporučeno zhotovení ochlazovacích drážek, do kterých jsou umístěny zploštělé měděné trubky, kterými cirkuluje voda, aby se před dalším použitím měděný podklad dostatečně ohladil [9].



Obr. 14 - Svařování na dočasnou měděnou podložku [7].



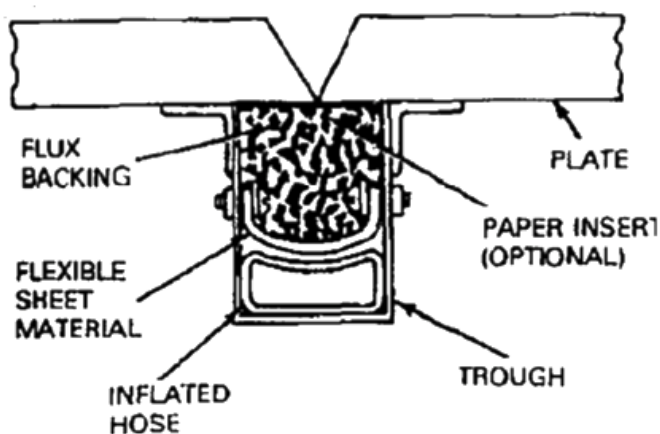
Obr. 15 - Způsob vodního chlazení pro měděné podklady svarových spojů [9].



Obr. 16 - Možná řešení svarových spojů s použitím měděné podložky [9].

2.3 Svařování na tavidlovou podložku

Svařování na tavidlovou podložku, neboli v praxi užívané spojení „tavidlový polštář“ je technika, kde je práškové tavidlo podepřeno v průchodu pod svarem a je tlačeno proti spoji takovými prostředky, jako je např. nafukovací hadice. Tato metoda je vhodnější pro dlouhé délky svarových spojů a více tolerantní vůči změnám v přizpůsobení než např. Podkladová tyč z mědi [9].

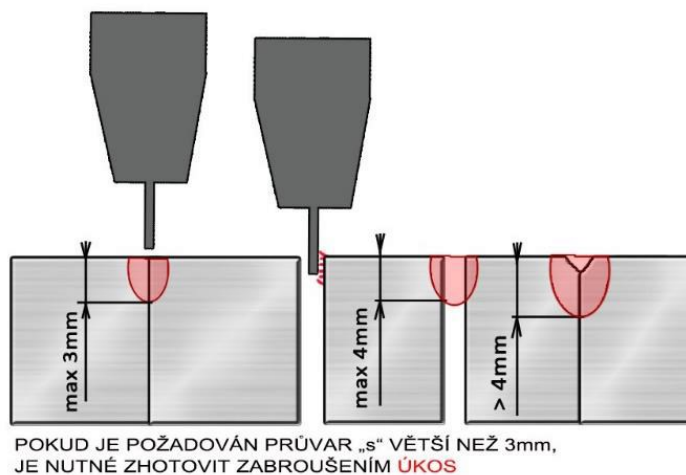


Flux backing (tavidlo); Flexible sheet material (pružný plech); Inflated hose (nafouknutá hubice); Plate (plech); Paper insert optional (papírová vložka optimálně); Through (koryto U-profil).

Obr. 17 - Svařování na tavidlové podložce [10].

2.4 Kořenový podklad

Patří k nejběžnějšímu způsobu podložení svarové housenky. Účelem je zajistit, aby pronikání svarové lázně nebylo možné, a to tím způsobem, že základní materiál poskytuje danou podpěru. Svarový spoj musí být potom doplněn svarem z druhé strany, často po vyříznutí drážky, což je proces známý jako zpětné drážkování. Případně může být proces obrácen použitím svarové housenky v kořenu, tzv. podvařený kořen, který nese následně navařený větší svarový kov. Např. při svařování pod tavidlem je u svaru podvařena kořenová housenka (případně dvě vrstvy), která zabrání propadnutí svarového kovu. U metody svařování MAG je zaručený průvar až 3 mm. Pokud je požadován větší průvar, musí být vybroušen úkos *Obr. 18*.



Obr. 18 - Svařování tupých svarů bez úkosu - I-svar (z dokumentace Unex).

2.5 Svařování na nájezdových a výjezdových deskách

Svařování na tzv. nájezdové ocelové destičky patří mezi nejčastější způsob svařování nájezdových a výjezdových svarů mimo oblast základního svařovaného materiálu. Používají se pro zamezení vad začátků a konců neuzavřených tupých svarů (V, 1/2V, X, K, atd.). Tloušťka, příprava svaru a délka nájezdových a výjezdových desek závisí na zadání a metodě svařování. Musí být zabezpečen plynulý přechod kořenové, výplňové i krycí svarové housenky ze svarového úkosu.

Parametry desek se volí individuálně, vždy s ohledem na typ svarového spoje či metodu svařování. Doporučené parametry nájezdových desek jsou uvedeny v tabulce 6. Desky se stehují k základnímu materiálu a po svařování se upálí plamenem, nebo odbrousí s přídavkem min. 1 mm tak, aby nedošlo k poškození základního materiálu a místo se zabrousí. Jelikož může dojít k vytrhávání základního materiálu a těžkému poškození celistvosti povrchu s vrubovým účinkem, je zakázáno desky odrážet či ulamovat.

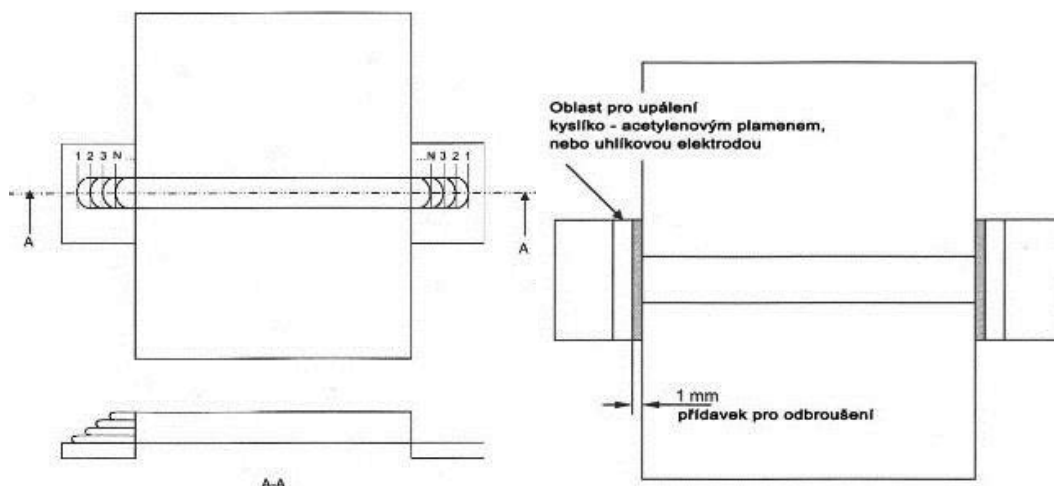
Jakost materiálu nájezdových desek musí být shodná se svařovaným základním materiálem. Nájezdové desky se přivařují za podmínek odpovídajících svařování základního materiálu.

Po odstranění nájezdových a výjezdových desek a zabroušení jejich okolí, musí být provedena vizuální kontrola okolí. V případě pochyb, nebo u specifických ocelových konstrukcí, se po předepsání technologem provede kontrola kapilární nebo magnetickou metodou.

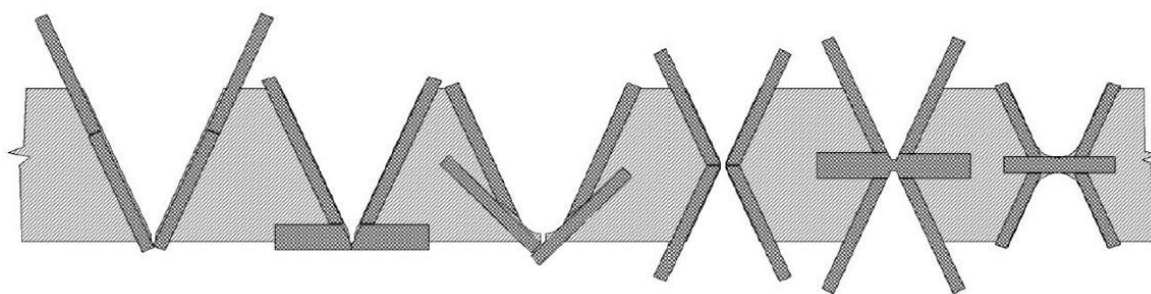
Tabulka 5 - Parametry nájezdových a výjezdových ocelových desek.

Metoda svařování	Parametry
135	Pro plech (základní materiál) tl. ≤ 20 mm - tloušťka desky min. 5 mm
	Pro plech (základní materiál) tl. > 20 mm - tloušťka desky min. 8 mm
121	Tloušťka desky min. 8 mm
	Délka desky min. 100 mm

Ocelové nájezdové destičky se vyrábějí z plochých tyčí různých velikostí odpovídající rozměrům svarového spoje, na který jsou desky použity. Jejich délka zpravidla musí být rovna min. šířce svarového spoje, zpravidla se doporučuje délka 30 mm.



Obr. 19 - Způsob provedení nájezdů a výjezdů svaru (vlevo), Způsob odstranění desek (vpravo) (foto z dokumentace Unex).



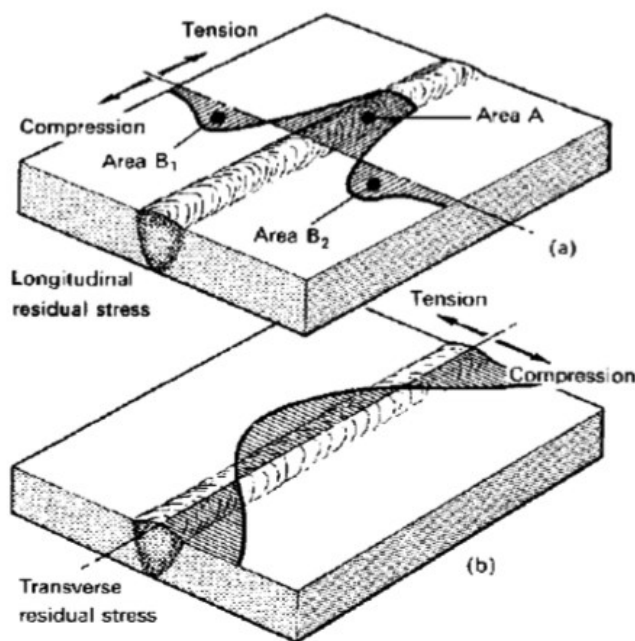
Obr. 20 - Možné řešení ustavení nájezdových desek (foto z dokumentace Unex).

2.6 Rizika koncových vad ve svarovém spoji

Během své životnosti je většina ocelových konstrukcí vystavena velkému počtu opakovaných cyklických napětí. V průběhu času mohou tato napětí na kritických místech způsobit poškození, např. trhliny. Tento jev se nazývá „únav“. Lze ho definovat jako progresivní lokalizovaný proces, při kterém se v konstrukci nebo konstrukčním prvku průběžně hromadí škody způsobené cyklickým zatížením. Únava patří mezi nejčastější příčiny poruchy ocelových konstrukcí [11].

Únavové trhliny jsou obvykle iniciovány v místech náhlé změny geometrie nebo vrubových míst, kde dochází k lokálnímu zvýšení koncentrace napětí. Čím menší je zářez, tím větší je koncentrace napětí a únavová životnost je kratší. Svařované spoje jsou nejčastější místa, kde dochází k lomu, jelikož se jedná o místa s vysokým namáháním. Svarový spoj a jeho okolí je namáhán v podélném směru (směr osy svaru) a v příčném směru. U tlustých plechů je nutné uvažovat s napětím ve směru tloušťky.

Průběh podélných a příčných napětí je vyobrazen na Obr. 21. Je zde vidět, jak se mění podélné zbytkové napětí ve směru osy svaru k okraji plechu a zároveň i průběh napětí v ose svaru ve směru délky svaru. Průběh a velikost příčných zbytkových napětí je závislý na počtu a způsobu kladení svarových housenek nebo vrstev [11].



*Tension (napětí); Compression (deformace); Area (oblast); Longitudinal residual stress (podélné zbytkové napětí);
Transverse residual stress (příčné zbytkové napětí).*

Obr. 21 - Zbytkové napětí ze svařování [12].

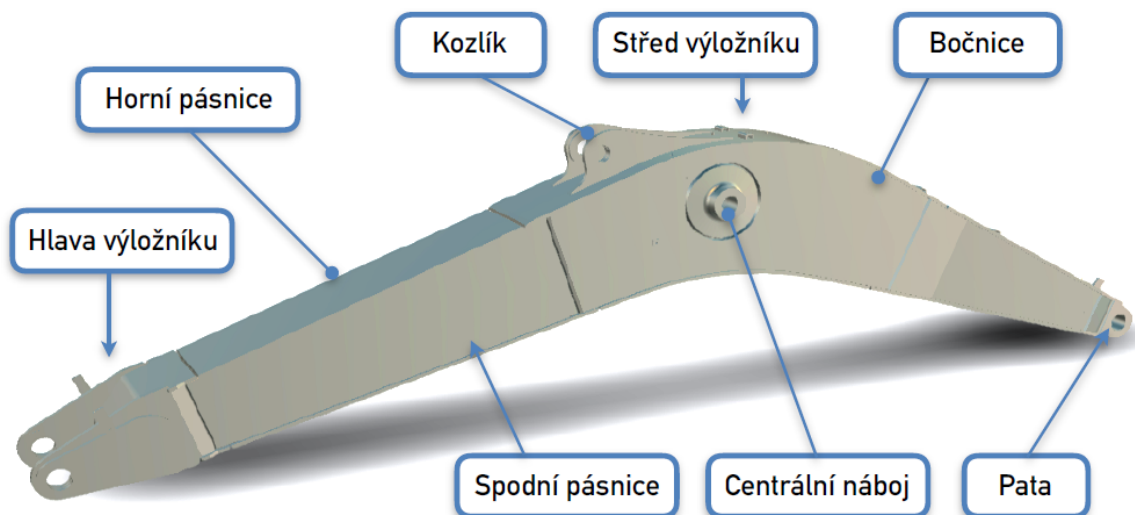
Jelikož jsou zbytkové napětí ze svařování nejvíce kritické na začátcích a koncích svarových spojů, je nutné této oblasti přistupovat s co největší opatrností a navrhnout takové způsoby technologie svařování, aby bylo zamezeno vzniku vad ve svarovém spoji.

3 Studie současného stavu svařování nájezdových ploch

Výroba svařenců výložníků rýpadla, které jsou předmětem této práce, probíhá v mateřském závodě společnosti UNEX v Uničově. Spolupráce mezi koncovým zákazníkem a společností na výrobě těchto typů svařovaných částí rýpadla, probíhá více než deset let. Společnost disponuje dlouhodobou zkušeností s výrobou výložníků a rýpadel od jejího vzniku.

3.1 Specifikace výrobku

Výložník rýpadla (dále jen „Výrobek“) patří mezi hlavní části rýpadla na pásovém nebo kolesovém podvozku. Pomocí čepů a pohyblivých hydraulických válců je upevněn k jednotlivým částem, jako jsou násada a horní rám rýpadla. Existují dva typy *Výrobku* a to jednodílný (Obr. 22) a dvoudílný. Jednodušší na výrobu je jednodílný. Výhodou dvoudílného je však jeho tvar, který mu umožňuje větší rozsah pohybů, např. při hloubení v sevřených jamách a to i pod samotným strojem.



Obr. 22 - Popis Výrobku a jeho základní části.

Základní části *Výrobku* tvoří tři průběžné otvory, které jsou umístěny v souvislosti s použitím stroje, zpravidla na krajních částech. Hlavní pohyb *Výrobku* je zajištěn pomocí přímočarých motorů. *Výrobek* je vyroben z dílů nelegované konstrukční oceli, jakosti S355J2+N dle normy EN 10025-2. Vyrábí se v sériové výrobě, přičemž je zajištěna

určitá část využití robotických pracovišť, zejména při svařování podsestav bočnic hlavy a celkové hlavy *Výrobku*. Ostatní dílce jsou následně skládány v přípravku, kde se nastehují a poté se sestehovaný *Výrobek* upne do polohovadla a ručně se zavaří metodou svařování 135 (MAG). S *Výrobkem* se manipuluje v polohovadle pro zajištění svařování v základních polohách (požadavek zákazníka).

Použité svařovací zařízení

Ve výrobě jsou ke svařování využívána zařízení různých značek. Základní složení mají všichni výrobci zpravidla shodné. Skládají se ze svařovacího zdroje, podavače pro podávání přídatného materiálu (drátu), vedení drátu, svařovacího hořáku, řídicí jednotky, chladicí jednotky, soustavy vodičů elektrického proudu, soustavy hadic pro rozvod ochranného plynu a chladicí vody, bezpečnostních a ochranných prvků.

a) Svařovací zařízení pro ruční svařování KEMPPI

Jedná se o základní svařovací zdroj (*Obr. 23*) s odděleným podáváním drátu pro metodu MIG/MAG. Jeho použití je při svařování jednoduché. Disponuje podávacím systémem drátu namontovaným na zdroj. Svářeč nastavuje parametry svařování na panelu ovládání, který je umístěn na podavači drátu a je chráněn proti případnému poškození.



Obr. 23 - Svařovací zařízení značky KEMPPI řada WeldForce (foto z výrobního provozu).

b) Svařovací zařízení pro ruční svařování Fronius TPS 500i

Jedná se o základní svařovací zdroj (Obr. 24), taktéž s odděleným podáváním drátu pro metodu MIG/MAG. Svoji jednoduchostí pro používání, spolehlivostí, modulární konstrukcí a možností doplňků systému zajišťují vysoký stupeň flexibility. Podavač obsahuje ovládání chráněné proti poškození přes krycí sklo a je namontován na zdroj s patřičnou délkou kabelů. Mezi hlavní výhody patří jednoduchý textový displej, který je snadno a intuitivně ovládán grafickým uživatelským rozhraním. Veškeré komponenty lze snadno připojit a díky automatizovanému rozpoznání systém automaticky zjistí, které součásti jsou připojené. Systém tak vylučuje lidsky neúčinné a nesprávné úpravy. Svářeč si může vybrat požadované napětí na přepínači a poté přizpůsobit rychlost podávání drátu, přičemž může korigovat i korekce koncového oblouku.



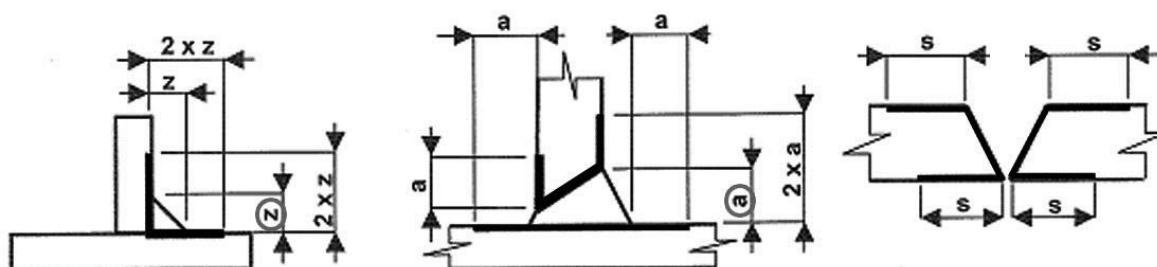
Obr. 24 - Svařovací zařízení značky Fronius řada TPS 500/i (foto z výrobního provozu).

3.2 Postup svařování výložníku rýpadla

V následujících kapitolách jsou popsány základní úkony před zahájením svařování, technologické pokyny a postup svařování *Výrobku* pro splnění požadavků stanovené TDP zákazníkem.

3.2.1 Příprava svarových ploch

Svarová plocha je místo budoucího svaru a jeho bezprostřední okolí. Příprava svarových ploch a úkosů výrazně ovlivňuje jakost svaru, a pokud je špatná příprava, hrozí riziko vzniku vady. Všeobecně musí být všechny svarové plochy prosté rzi, okují, mastnoty a jiných nečistot. Svarové plochy se připravují velice pečlivě s ohledem na požadovanou jakost svarů a technologii svařování. Je nutné důsledně dbát především na dodržení stanovené kořenové mezery u tupých svarů a přesné dolícování podložek pod tupé svary. Svarové plochy jsou vyobrazeny na *Obr. 25*. Šířka přilehlého okolí se uvažuje jako šířka koruny svaru.



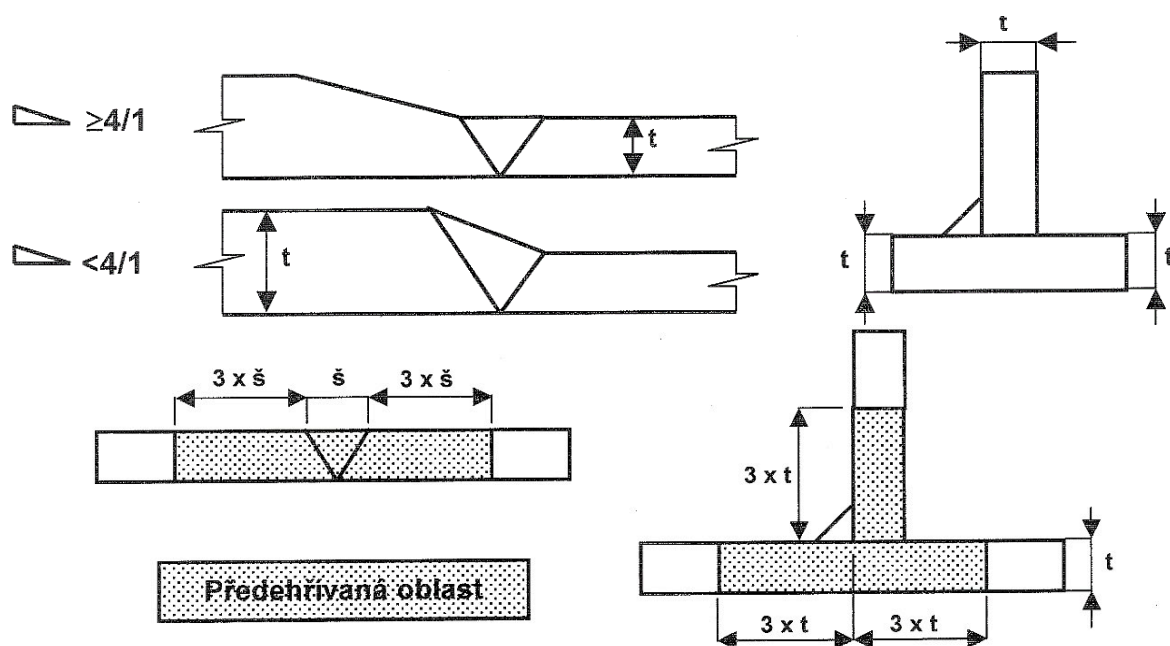
Obr. 25 - Příklady svarových ploch (tučně znázorněno) - velikost odvěsny svaru (z), výška svaru (a), tloušťka plechu (s), (foto z dokumentace Unex).

Tabulka 6 - Nečistoty a jejich dopad na vznik vad ve svarech.

OKUJE	Mají vysokou teplotu tavení (2000 °C, ocel jen cca 1500 °C). Okuje nelze roztavit obloukem a zůstávají ve svaru. Způsobují studené spoje. Dále z důvodu rozpouštění oxidů mohou vznikat vnitřní póry.
REZ	Má rovněž vysokou teplotu tavení podobně jako okuje a navíc obsahuje vlhkost. Voda obsažená ve rzi je obloukem rozložena na vodík, který se rozpouští a způsobuje vysoká pnutí ve svaru a ke vzniku trhlin. Vodík také může způsobovat porezitu.
MASTNOTA, BARVA	Spálením vzniká množství plynů (i vodíku), které unikají svarovým kovem. Při tuhnutí vznikají póry.
PRACH	Snadno na sebe váže vlhkost, olej a spalováním rovněž vznikají plyny = porezita.

3.2.2 Předehřev před svařováním

Předehřev základního svařovaného materiálu se řídí parametry uvedenými v příslušných WPS a provádí se na ploše 3krát šířka svarů. V případě, že teplota svařovaného materiálu poklesne pod 5 °C, je předehřev nutný vždy pro všechny tloušťky materiálu. Předehřívaná oblast základního svařovaného materiálu je vyobrazena na Obr. 26.



Obr. 26 - Tloušťka základního materiálu pro stanovení předehřevu (foto z dokumentace Unex).

3.2.3 Stehování

Stehy mohou provádět pouze pracovníci s odpovídající svářečskou kvalifikací, jelikož nejsou před svařováním odstraňovány a zůstávají na konstrukci jako plnohodnotné svary. Stehy svarů $< 3 \text{ mm}$ a nevyhovující stehy je nutné odstranit! Stehy podélných styků se provádějí v délce $40 \div 50 \text{ mm}$ a vzdálenosti mezi stehy jsou přibližně 400 mm . Přídavný materiál pro stehování je stejný jako pro svařování. Stehy musí být před svařováním očištěny od strusky a rozstříku. Stehy se zásadně provádí do svarových ploch, stehování mimo svarovou plochu je zakázáno! Stehové svary podložek musí být umístěny minimálně 30 mm od okraje a uvnitř výložníku musí být umístěny minimálně 30 mm od spojů a ohybů plechů.

3.2.4 Svařování všeobecně

Svařování se provádí přídavným materiálem jakosti G3Si1 dle EN ISO 14341 v ochranném plynu M21 dle EN ISO 14175 (80% Ar + 20% CO₂). Velikosti koutových svarů jsou uváděny jako „Z“ (odvěsna trojúhelníka - „staré značení“) podle normy ČSN EN ISO 2553. Je nutné používat optimální svařovací parametry (s ohledem na polohu svařování a typ svaru), z důvodu zamezení vzniku vrubů a zápalů. Napojování svarů se provádí bez vrubů a výhradně na rovných úsecích mimo rádiusové oblasti svaru. V případě nutnosti úpravy napojení svaru broušením se nesmí poškodit základní materiál. Napojování vícevrstvých svarů (např. na hlavě *Výrobku*) není povoleno provádět v jednom místě!

3.2.5 Postup svařování

a) Hlava Výrobku

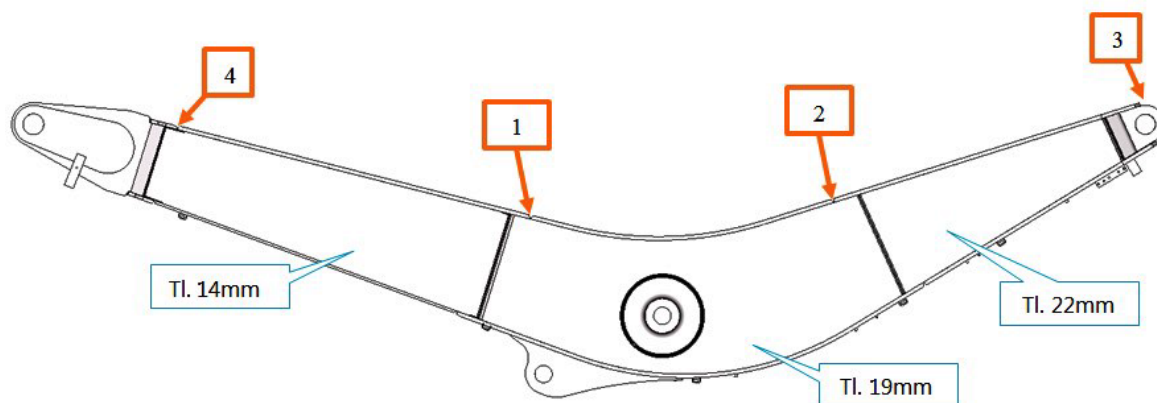
Sestavená hlava výložníku se upne na desku svařovacího polohovadla, je provedena kontrola přípravy svarových ploch a následně je aplikován stanovený předehřev zemním plynem na teplotu základního materiálu v rozmezí 100 ÷ 120 °C. Nejprve se zavaří všechny výběhy a příčné koutové svary. Při svařování vnitřních koutových svarů se střídají strany, jelikož by hrozily deformace vlivem svařování. Každé napojení svaru se provádí mimo rádiusové oblasti.

b) Střední díl Výrobku

Před započítím svářečských prací se opětovně překontroluje připravenost svarových ploch. V průběhu svařování se s dílcem manipuluje a jednotlivé kroky se provádí na pravé i levé straně středu výložníku. Jsou podloženy úkosy kolem středového náboje a postupně se svařují jednotlivé svary na vnitřních žebrech a podloží podélné ½V svary. Postupně se dovaří podložené svary, přičemž jednotlivé vrstvy svaru se nenapojují v jednom místě.

c) První poloha: Spodní příčné svary – pořadí svařování 1 až 4

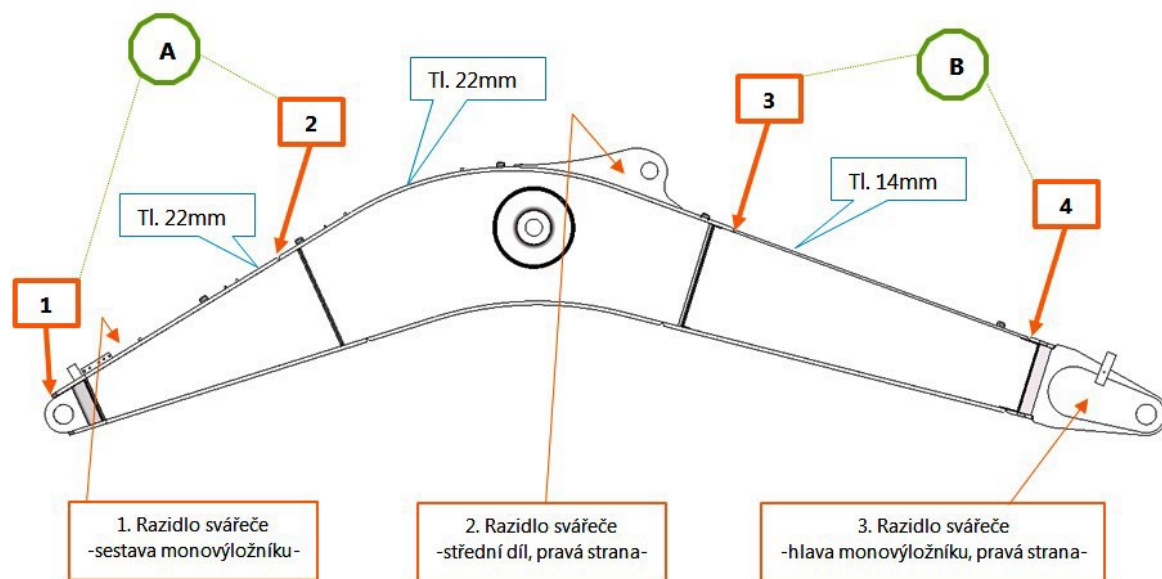
Počet vrstev závisí na svařovacích parametrech, poloze svařování a provedené přípravě svarových ploch. Převýšení svarové housenky je dle požadavků zákazníka maximálně 2 mm. Jednotlivé vrstvy příčných svarů se svařují protisměrně.



Obr. 27 - Postup svařování Výrobku - spodní příčné svary - pořadí svařování 1 - 4.

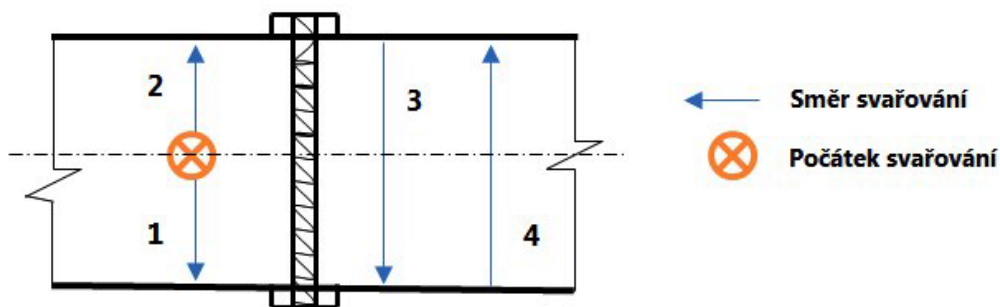
d) Druhá poloha: Horní příčné svary – pořadí svařování 1 až 4

Na třech označených místech - hlava, střední díl, sestava Výrobku, je vyraženo identifikační číslo svářeče. Svary ozn. č. 1 + 2 se svařují v poloze při přizvednutém (podloženém) konci Výrobku - poloha "A". Obdobné svary ozn. č. 3 + 4 - poloha "B".



Obr. 28 - Postup svařování Výrobku - horní příčné svary - pořadí svařování 1 - 4.

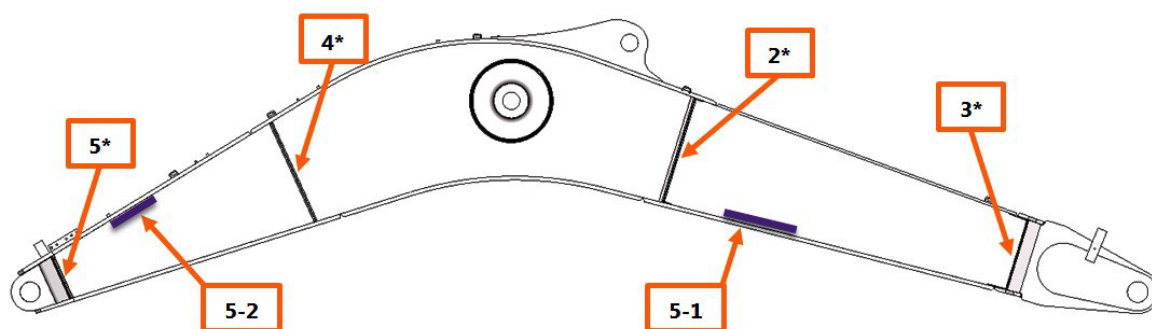
Kořenové housenky příčných svarů ozn. č. 1 + 2 se svařují od středu do krajů, další svarové housenky se svařují protisměrně. Počet vrstev je závislý na svařovacích parametrech, poloze svařování a připravenosti svarových ploch. Pro všechny příčné svary se používají nájezdové desky dle zvyklostí UNEX. Jednotlivé vrstvy označených příčných svarů se svařují do protisměru (Obr. 29).



Obr. 29 - Schéma počátku a směru svařování.

e) Třetí + čtvrtá poloha: Boční příčné svary levá a pravá strana
(pořadí svařování 1 až 5)

Po zavaření všech příčných svarů na obou stranách levé i pravé je provedeno vyplnění (podložení) podélných úkosů 5-1 a 5-2.

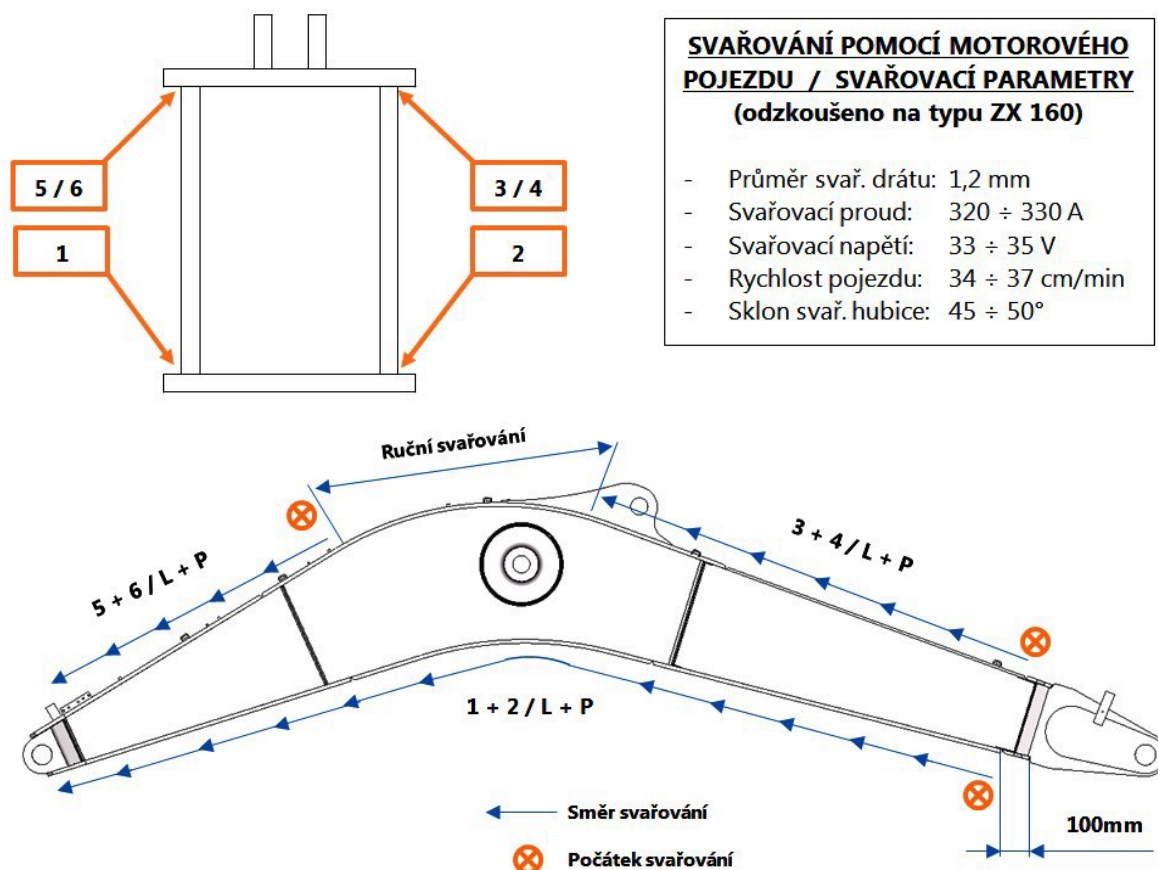


Obr. 30 - Postup svařování - boční příčné svary levá a pravá strana (pořadí svařování 1 - 5).

f) Pátá a šestá poloha: svařování bočních podélných svarů levé i pravé strany

Svařování podélných koutových svarů je prováděno pojízdným držákem svařovacího hořáku KOIKE z důvodu zabezpečení požadovaného průvaru 3 mm, postup svařování i včetně parametrů svařování je vyobrazen na Obr. 31. Před započítím svařování je provedeno zabroušení stehových svarů na bočnici u horní pásnice.

Svařování kozlíku se provádí v příhodné poloze, dbá se na dodržení míst označených „bez svaru“ a výběhy se provádí dle příslušné svařovací návodky.



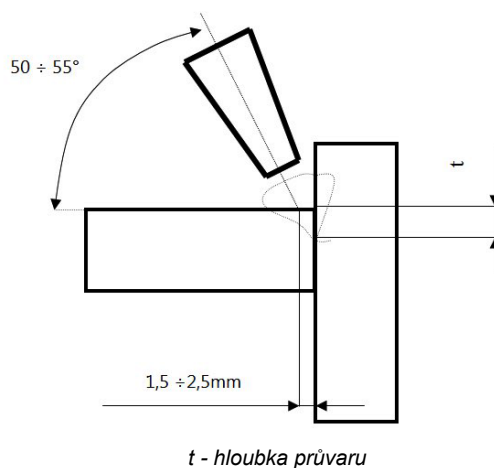
Obr. 31 - Parametry a postup svařování podélných koutových svarů pojízdným držákem svařovacího hořáku KOIKE - pořadí svarů.

Před zahájením svařování podélných svarů je nezbytností nejprve:

1. Přebrousit příliš převýšené koutové stehové svary.
2. Vyvařit výběhy svarů na špici výložníku.
3. Odměřit a označit začátek svařování (100 mm).
4. Nastavit parametry motorového pojezdu dle svařovací návodky (Obr. 31)
5. Provést doladění svařovacích parametr na zkušebním kuse.

Správná poloha svařovacího hořáku při použití pojezdu (držáku) KOIKE

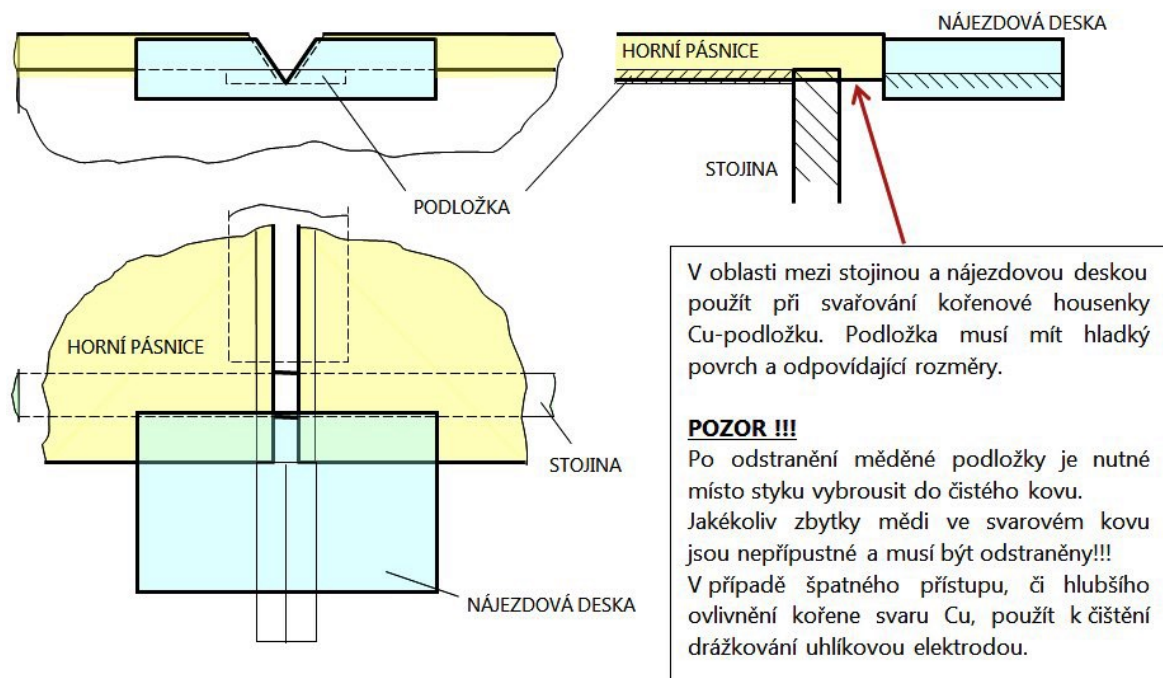
Při této poloze a dodržení stanovených parametrů je dosaženo maximální hloubky průvaru. Hloubka průvaru označenou jako „t“ je vyhodnocena kontrolou ultrazvukem (Obr. 32).



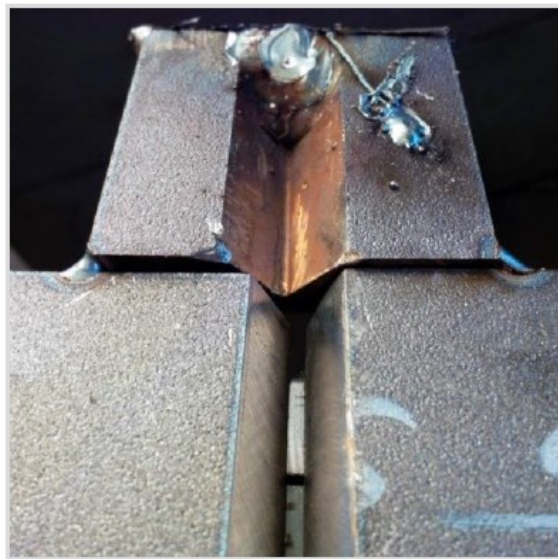
Obr. 32 - Poloha svařovacího hořáku při použití pojezdu KOIKE.

Definovaný postup zhotovení příčných svarů:

1. Kořenová housenka / kořen svaru
 - a. Pro tloušťky $3 \div 20 \rightarrow$ svařovací parametry dle WPS
 - b. Pro tloušťky $21 \div 80 \rightarrow$ svařovací parametry dle WPS
2. Následné housenky / výplňové vrstvy
 - a. Pro tloušťky $3 \div 20 \rightarrow$ svařovací parametry dle WPS
 - b. Pro tloušťky $21 \div 80 \rightarrow$ svařovací parametry dle WPS
3. Krycí vrstva
 - a. Pro tloušťky $3 \div 20 \rightarrow$ svařovací parametry dle WPS
 - b. Pro tloušťky $21 \div 80 \rightarrow$ svařovací parametry dle WPS
4. Upálení nájezdové desky - „1. krok“ (Obr. 36)
5. Vybroušení okraje svaru do hloubky $1,5 \div 2,0 \text{ mm}$, vizuální kontrola povrchu na vady a trhlinky. Pokud se ještě vada objeví, zabroušení do hloubky $2,5 \div 3,0 \text{ mm}$, vizuální kontrola povrchu na vady a trhlinky. Pokud se vady stále objevují, vrátí se výložník k opravě ke svářečům.
6. Zavaření podélné housenky ve vybroušené oblasti.
7. Zabroušení okrajů plechu do plynulého přechodu mezi oběma pásnicemi, stopy po broušení v podélném směru. Vizuální kontrola povrchu na vady a trhlinky



Obr. 33 - Schéma správného ustavení nájezdové desky včetně postupu svařování.



Obr. 34 - Skutečné ustavování nájezdových desek ve výrobě.

Ve výrobě je nutné dbát nejen na správné ustavení nájezdových desek, ale zároveň i na řádné provedení výjezdu svarových housenek na nájezdové desce (Obr. 35).



Obr. 35 - Provedení výjezdu svarových housenek (vlevo chybné; vpravo správné).



Obr. 36 - Následující postup po upálení nájezdové desky.

3.2.6 Kontrola svarů

Pro kontrolu provedení svarů po odstranění nájezdových desek se zpravidla používají NDT metody, zejména 100% kontrola VT dle EN ISO 17635 a MT dle EN ISO 17638. Jakékoliv vady typu nespojitostí, pórů nebo trhlin jsou nepřijatelné a musí být opraveny.

4 Návrh přípravku a realizace změny svařování výběhů svarů

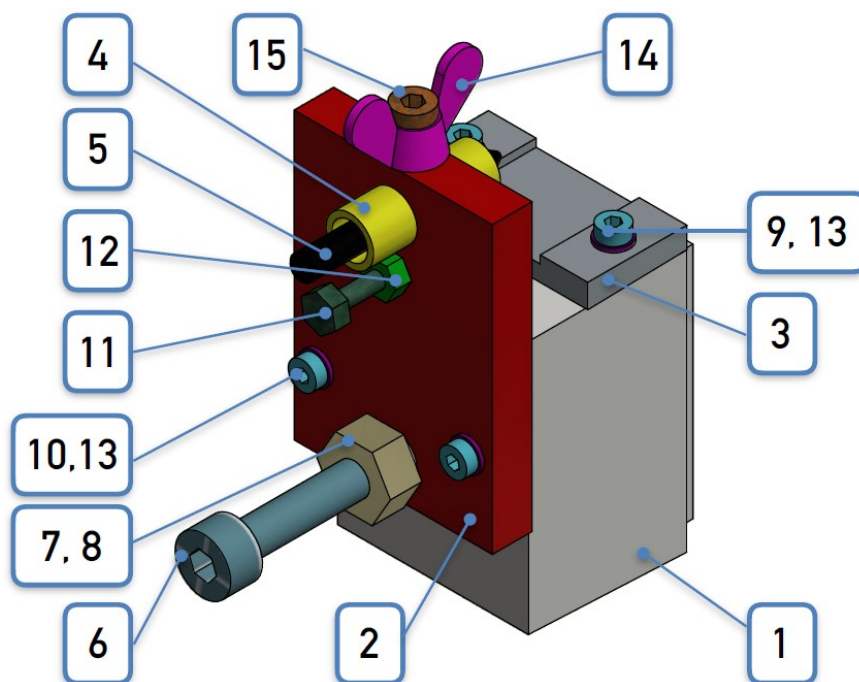
Ve výrobě se opakovaně objevovaly neshody v provedení výjezdů svarových housenek a nedostatečného průvaru. Dále po odbroušení nájezdových desek vznikaly značné zábrusy i do základního materiálu a následné operace navařování, broušení a magnetická kontrola měly dopad do vyšší pracnosti na zhotovení svarového spoje.

Za tímto účelem jsem navrhl zefektivnění tohoto procesu s cílem eliminovat:

- chybovost ustavení nájezdových desek,
- provádění výjezdů svarů mimo základní materiál,
- časově a pracně náročné broušení,
- zbytečné náklady na používaný pomocný materiál.

4.1 Konstrukce magnetického upínacího přípravku

Při navrhování magnetického upínacího přípravku (dále jen „*Přípravek*“) jsem kladl důraz na jednoduchost, přesnost, ale i hospodárnost v rámci životnosti *Přípravku*. Důležitým kritériem byla návratnost. Práce s *Přípravkem* musí spočívat v jednoduchosti aplikování ve výrobě a vzhledem k sériové výrobě *Výrobku*, musí opakovaně zajistit požadovanou kvalitu provedení svarového spoje. Navržený model *Přípravku* je vyobrazen na Obr. 37.



Obr. 37 - 3D model navrženého Přípravku.

Tabulka 7 - Kusovník *Přípravku*.

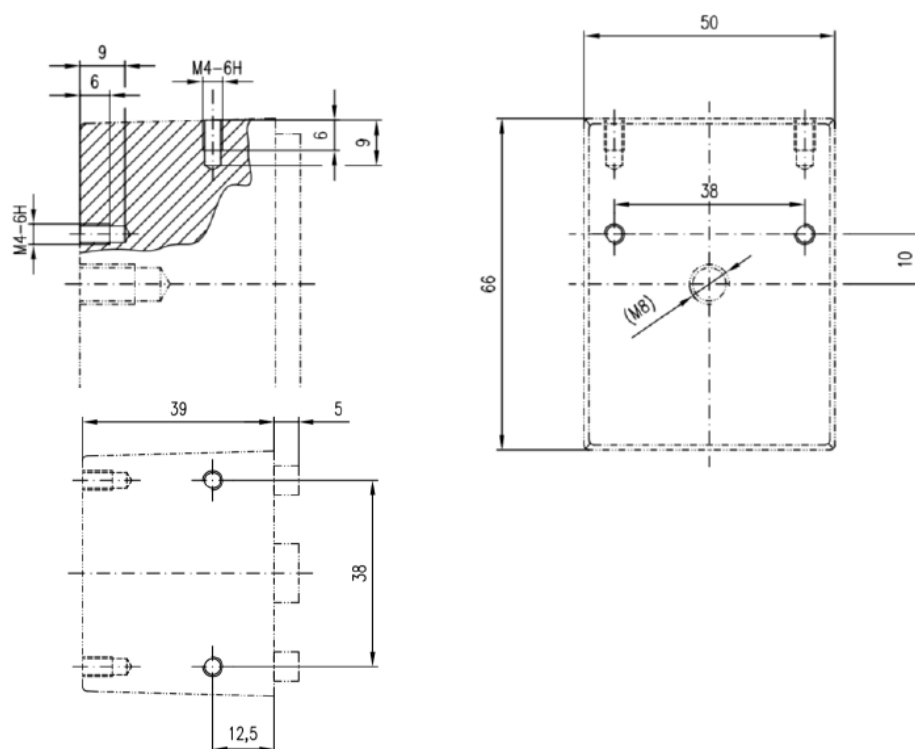
Číslo pozice	Název pozice	Materiál	Počet ks
1	Magnetický držák	Magnet	1 ks
2	Čelní deska	S355J2 PLO 50x10 - 72	1 ks
3	Horní deska	S355J2 PLO 25x6 - 50	1 ks
4	Vedení	E335GC+C KR pr.12h11 - 32	1 ks
5	Hrot	E335GC+C KR pr.6h11 - 50	1 ks
6	Šroub M8 x 60	ČSN 02 1143.55	1 ks
7	Matice M8	ČSN 02 1401.55	1 ks
8	Podložka 8.4 M8	ČSN 02 1702.15	1 ks
9	Šroub M4 x 12	ISO 4762-8.8 Zn	2 ks
10	Šroub M4 x 16	ČSN 02 1143.55	2 ks
11	Šroub M4 x 40	DIN 912-10.9 Zn	1 ks
12	Matice M4	ČSN 02 1401.55	1 ks
13	Podložka 4,3	DIN 125 A Zn	4 ks
14	Matice křídlatá M6	DIN 315 - GT Zn	1 ks
15	Šroub M6 x 16	ČSN 02 1143.55	1 ks
16	Lepidlo Loctite 243 5ml	- - -	1 ks

4.1.1 Magnetický držák

Základním prvkem *Přípravku* je magnetický držák typ WK-P-TK od výrobce KANETEC CO., Ltd. (Obr. 38). Pro umístění čelní a horní desky na ustavování keramických podložek, bylo zapotřebí vyvrtat do magnetu otvory z boční i z horní strany (Obr. 39). Do těchto otvorů jsou následně přišroubovány upravené desky z plochých tyčí. Závitový otvor M8 - 6H, který byl již na magnetu zhotoven při objednání, bude sloužit pro šroub na manipulaci a na odepnutí z ocelové konstrukce.



Obr. 38 - Magnetický držák model WK-P-TK od firmy KANETEC [13].



Obr. 39 - Úprava magnetu - vyvrtání otvorů pro uchycení horní a čelní desky.

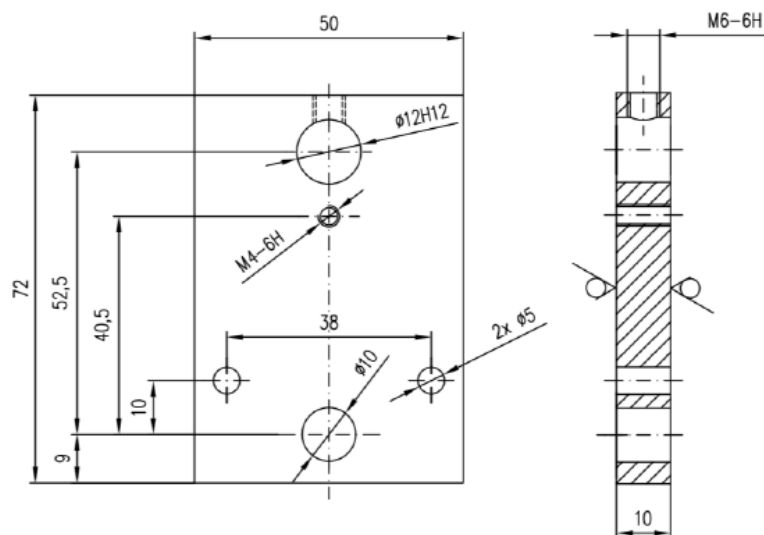
Tento typ magnetického držáku je vhodný pro předběžnou instalaci a navařování na pracovištích, jako jsou různé staveniště, stavby mostů, lodí a potrubí. Externí část magnetu je vyrobena z hliníku, aby se zabránilo vzniku adheze železného prášku na horní a boční strany. Model WK-TP má vysoce odolnou konstrukci vůči teple [13].

Tabulka 8 – Parametry magnetického držáku [13].

Model	Tepelná odolnost	Nosnost	Hmotnost
WK-TP	180 °C	100 kg	0,75 kg

4.1.2 Čelní deska

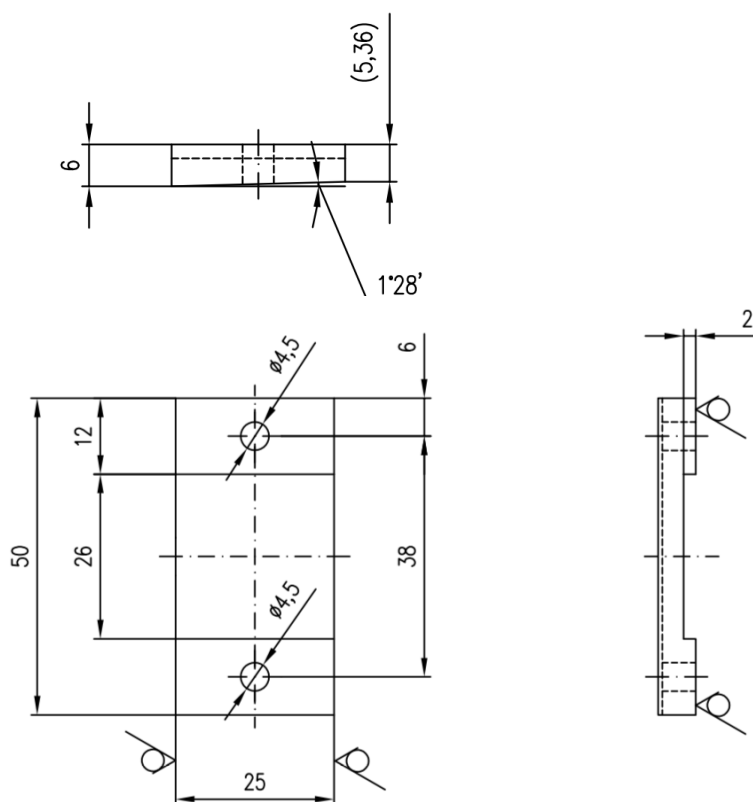
Čelní deska na *Přípravku* slouží pro přišroubování dorazového šroubu, který vymezí polohu keramické podložky ve směru osy svarového spoje. Deska slouží také pro vložení trubičky s hrotem pro ustavení svislé keramické podložky a dotažení hrotu křídlovou maticí. Vstupním polotovarem je plochá tyč 50x10, která se uřeže na rozměr 72 mm. Po řezání se srazí ostří, orýsuje se a vyvrtají se otvory a závit dle dokumentace (Obr. 40).



Obr. 40 - Čelní deska.

4.1.3 Horní deska

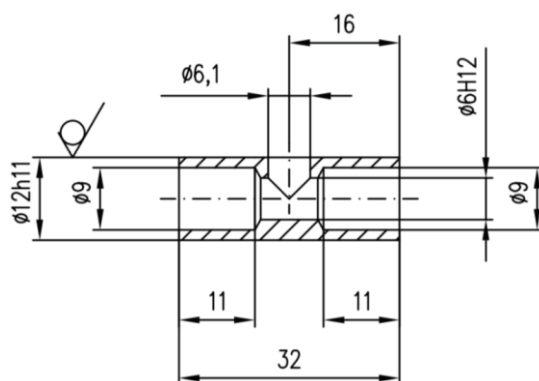
Horní deska na *Přípravku* slouží pro ustavení keramické podložky. Vstupním polotovarem je plochá tyč o rozměrech 25x6 mm, která se uřeže na délku 50 mm. Následně se srazí ostří, orýsují se a vyvrtají průchozí otvory na rozměry uvedené v dokumentaci (Obr. 41). Dále se provede zkosení desky pod úhlem $1^{\circ}28'$ (jedná se o úhel sklonu na horní straně magnetu).



Obr. 41 - Horní deska.

4.1.4 Vedení

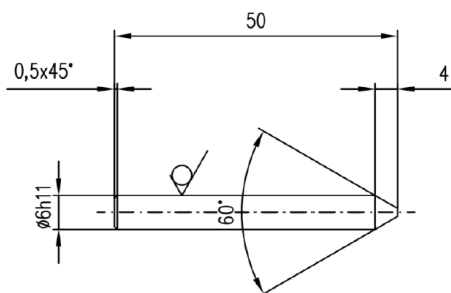
Vedení slouží jakožto vodičko pro hrot, kterým se dotahuje keramická podložka na čelo horní/spodní pásnice výložníku. Vedení je vyrobeno z tažené tyče průměru 12 mm z délky polotovaru 52 mm. Zarovná se čelo, následně se vyvrtá průchozí otvor o průměru 6 H12 mm, převrtá se otvor průměru 9 mm, obrobek se otočí, upne v místě průměru 6 mm a dokončí se druhá strana průměru 9 mm a čelo na míru 32 mm.



Obr. 42 - Vedení.

4.1.5 Hrot

Hrot slouží pro přitlačení boční keramické podložky k boční straně horní/spodní pásnice. Je prostrčen přes vedení, čímž je zaručena pokaždé stejná poloha keramické podložky. Vstupním polotovarem pro výrobu je tažená tyč o průměru 6 mm, která je uřezána na délku 50 mm. Následně se srazí ostří a upraví se konce hrotu na pravé straně zkosení délky 4 mm pod úhlem 60° a na levé straně se srazí hrana 0,5 x 45°.



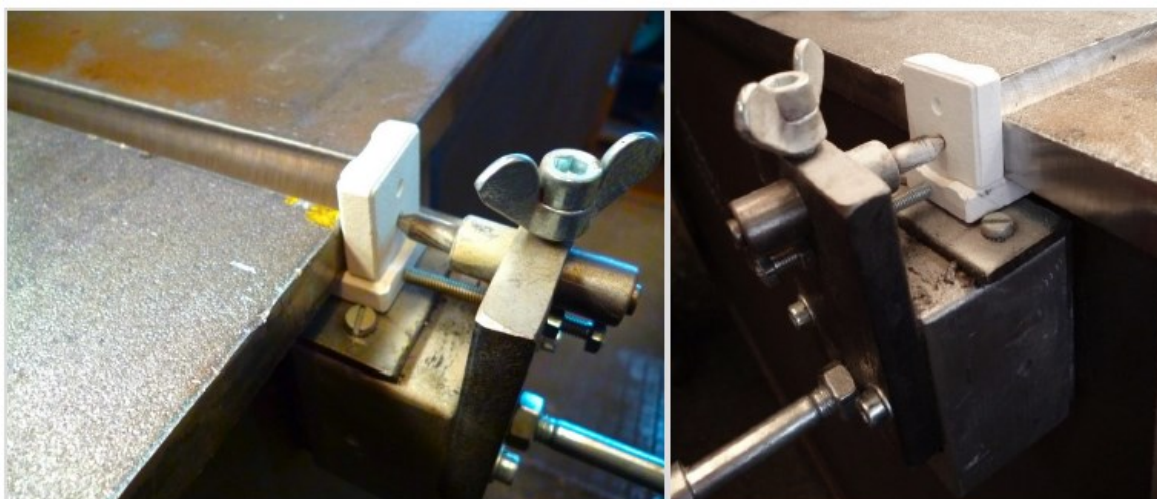
Obr. 43 - Hrot.

Další vstupní díly do sestavy jsou pouze nakupované, jelikož se jedná o normalizované položky - šrouby, matice, podložky a lepidlo Loctile 243 (slouží pro zajištění křídlové matice se šroubem).

Veškeré položky se smontují dle sestavného výkresu (Příloha A), na *Přípravek* se vyrazí označení, které je systémově přiděleno (OHS 3528) pro jeho identifikaci a zároveň pro pravidelnou periodu kontroly - minimálně jednou za dva roky. Pracovník kontroly provede kontrolu správné montáže a svářeč ověří jeho funkčnost za přítomnosti svářečského dozoru. Je-li funkčnost ověřena, je *Přípravek* uvolněn k používání do výroby.

4.2 Realizace změny navrhovaného postupu svařování

Příprava svarových ploch se oproti současnému stavu nijak měnit nebude. Zůstanou zachována stejná pravidla (viz kap. 1.3.1). Keramické destičky, které jsou náhradou za nájezdové a výjezdové desky, se vloží před zahájením svařování do sušící pece min. na 1 hod při teplotě 150 °C pro odstranění případné vlhkosti. Následně se ze sušící pece vytáhne množství potřebné pro prováděný příčný svar (4 ks keramických podložek), vloží se spodní keramická destička do *Přípravku*, vystředí se na střed svaru (na keramické podložce je vodící drážka) a za pomoci magnetu se připne ke svařovanému *Výrobku* tím, že se přitlačí horní strana keramické destičky ke spodní/horní pásnici. Poté se vloží keramická destička z boční strany a hrotem se přitlačí tak, aby se zabránilo jejímu případnému vypadnutí. Upnutí keramických destiček je vyobrazeno na *Obr. 44*.



Obr. 44 - Upnutí keramických podložek za pomoci *Přípravku*.

4.2.1 Postup zhotovení příčných svarů

Postup svařování jednotlivých svarových housenek zůstane zachován (z důvodu rozptřeni vneseného tepla - vliv na deformaci výložníku) a to svařováním příčných svarů do protisměru. Na Obr. 45 je číselně vyznačeno pořadí svarů a jejich směr označen směrovou šipkou na výložníku. Počátek zahájení svařování je ve středu výložníku.



Obr. 45 - Postup svařování jednotlivých housenek u příčných svarů pásnic výložníku – číselné pořadí svarových housenek.



Obr. 46 - Fotodokumentace zavaření kořenové housenky příčného svaru za pomoci keramických destiček upnutých v Přípravku.

Následně se pokračuje ve svařování výplňových housenek dle postupu stanoveného (Obr. 45) a na závěr proběhne zavaření krycí vrstvy (Obr. 47).

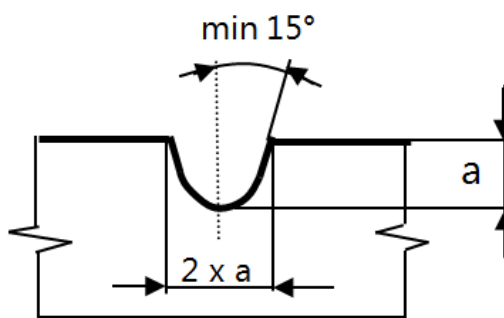


Obr. 47 - Zavaření krycí vrstvy příčného svaru v přípravku.

Po zavaření krycí vrstvy a jejího vychladnutí se bezpečně za pomoci ochranných rukavic odepne *Přípravek* a odstraní se vhodným způsobem keramické podložky. Boční plochy horní/spodní pásnice v místě svaru se bezvrubě zabrousí do roviny mezi dvěma pásnicemi (Obr. 48).

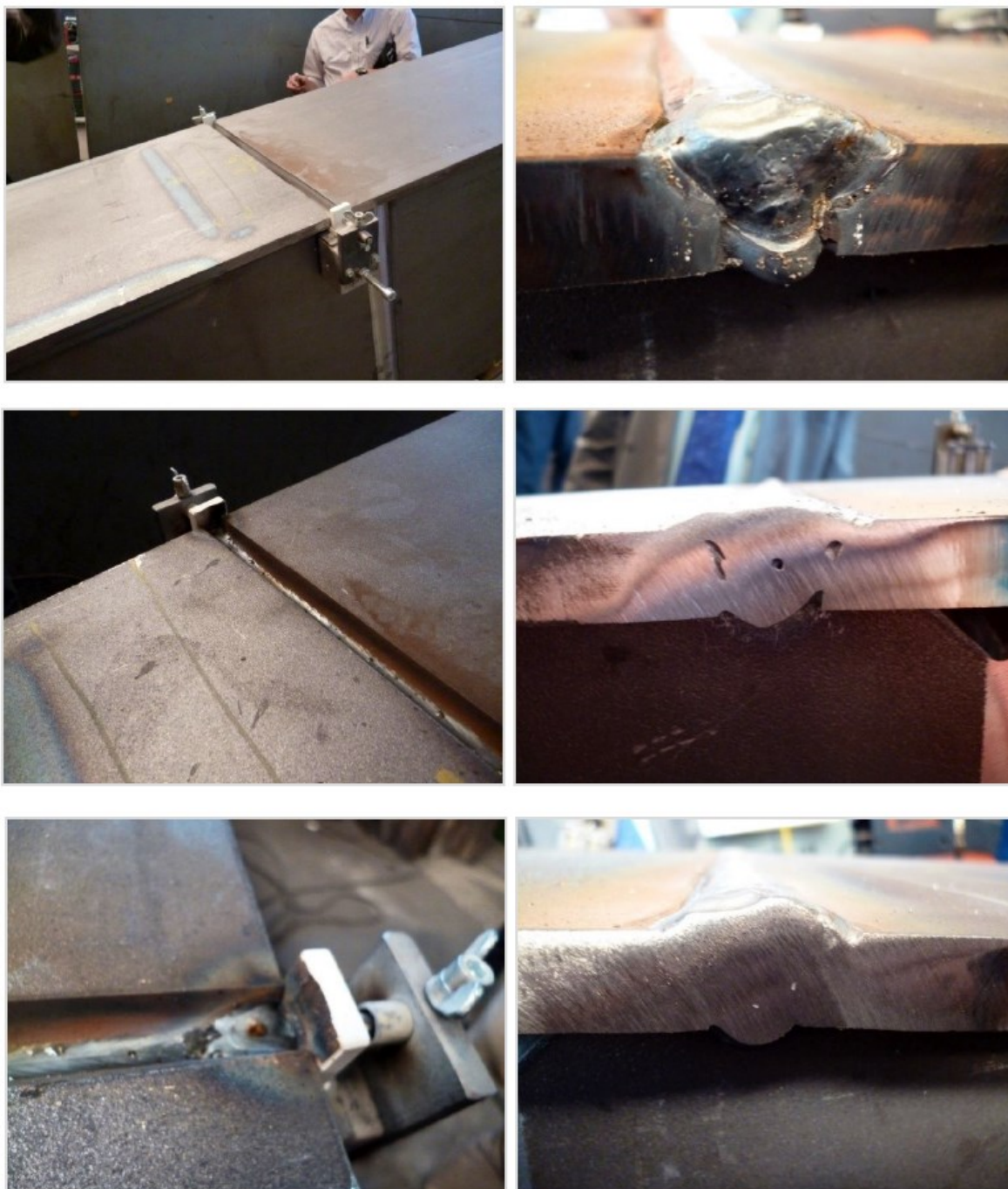


Obr. 48 - Fotodokumentace po zavaření příčného svaru, odstranění keramických destiček a vyznačená oblast pro bezvrubé zabroušení.



Obr. 49 - Náskres vybroušení případné vady ve svaru.

4.2.2 Fotodokumentace prvotního testování ve výrobě

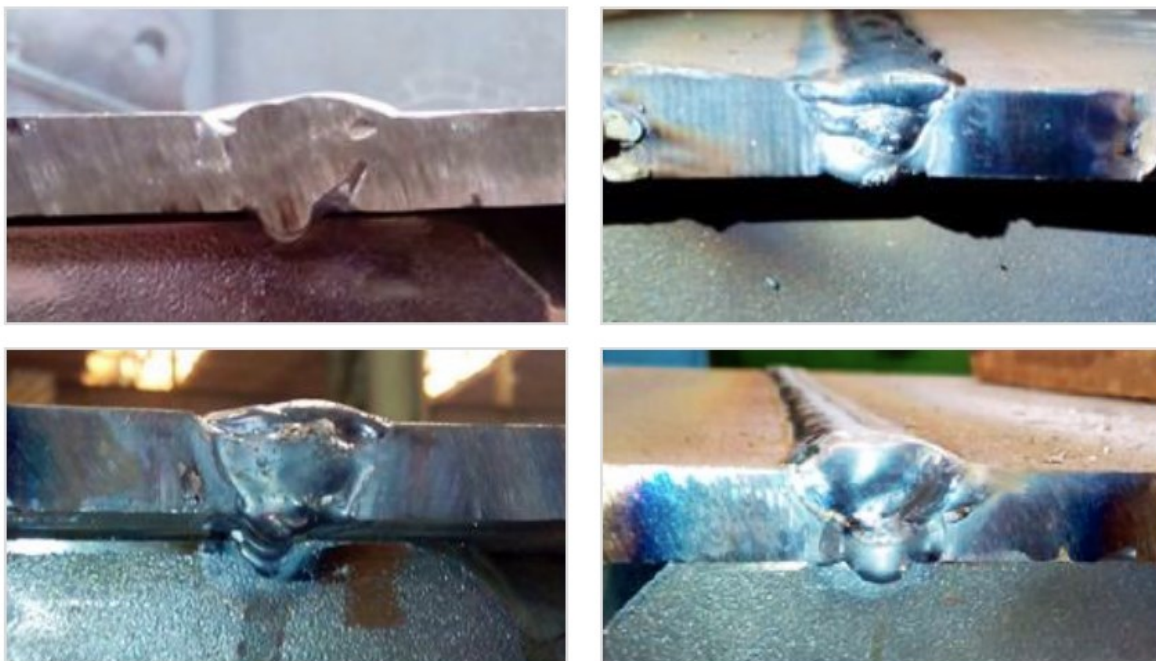


Obr. 50 - Fotodokumentace - prvotní testování – nevyhovující výsledky.

Výsledky prvotních zkoušek byly shledány jako nevyhovující. Přínosem byla pouze úspora pracnosti na broušení nájezdových desek. Provedli jsme korekci parametrů včetně zásadního parametru a to korekce délky oblouku u svařovacích zdrojů Fronius.

4.2.3 Fotodokumentace při ostrém testování ve výrobě

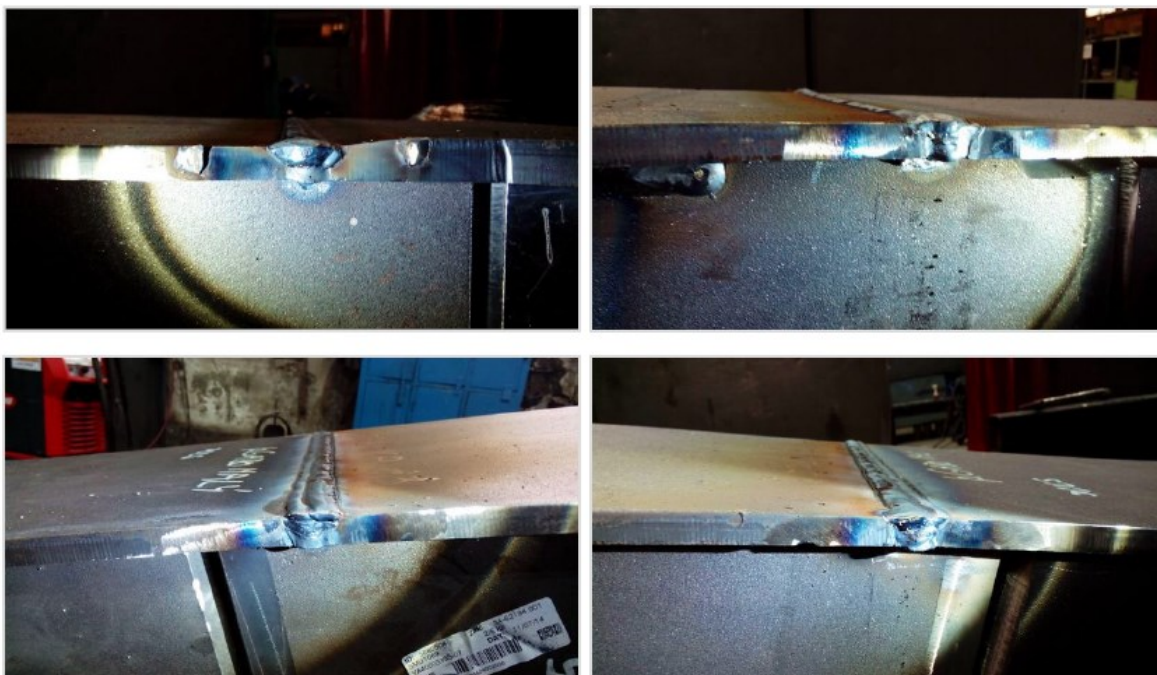
Po prvotních zkouškách, korekci parametrů svařování a způsobu ukončení svaru do keramické podložky, jsem zhotovil ověřený postup svařování a aplikoval u třech svářečů. Výsledky jsou vyobrazeny na následujících snímcích.



Obr. 51 - Fotodokumentace - Svářeč č. 1 - nevyhovující výsledky (zápaly, póry).



Obr. 52 - Fotodokumentace - Svářeč č. 2 - nevyhovující výsledky (zápaly).



Obr. 53 - Fotodokumentace - Svářeč č. 2 - vyhovující výsledky.



Obr. 54 - Fotodokumentace - Svářeč č. 3 - vyhovující výsledky.

4.3 Parametry svařování

Parametry svařování jsem odsledoval u různých svářečských pracovníků a typů svařovacích zdrojů. Výsledné hodnoty jsou sepsány v následujících tabulkách vždy pro příslušný použitý svařovací zdroj.

Tabulka 9 - Parametry svařování – FRONIUS - sprchový přenos.

Vrstva	Proud (I)	Napětí (U)	Rychlost podávání drátu	Počáteční proud	Koncový proud	Korekce délky oblouku
1	260 ÷ 270 A	28 ÷ 28,5 V	8,5 ÷ 9 m/min	70 %	75 %	0,5
2 ÷ n	320 ÷ 330 A	29 ÷ 29,5 V	10,5 ÷ 11,5 m/min	70 %	50 %	1,0

Tabulka 10 - Parametry svařování - FRONIUS - pulsní přenos.

Vrstva	Proud (I)	Napětí (U)	Rychlost podávání drátu
1	260 ÷ 270 A	30,5 ÷ 31 V	8,5 až 9 m/min
2 ÷ n	310 ÷ 320 A	32,5 ÷ 33 V	11,5 až 12 m/min

Tabulka 11 - Parametry svařování - KEMPPI - sprchový přenos.

Vrstva	Proud (I)	Napětí (U)	Rychlost podávání drátu	Počáteční proud	Koncový proud	Korekce délky oblouku
1	260 ÷ 270 A	28 ÷ 28,5 V	8,5 ÷ 9 m/min	70 %	75 %	0,5
2 ÷ n	320 ÷ 330 A	29 ÷ 29,5 V	10,5 ÷ 11,5 m/min	70 %	50 %	1,0

4.4 Konečná úprava svaru a NDT kontrola

Po zavaření a odepnutí *Přípravku* je provedena vizuální kontrola povrchu na vady a trhlinky (kritéria pro vyhodnocení jsou stanovena výkresovou dokumentací). V případě zjištění vady, je nutné vadu vybrousit za pomoci frézky dle schématu (*Obr. 52*), následně zavařit, opětovně zabrousit a provést vizuální kontrolu. V případě vyhovující vizuální kontroly se provede kontrola magnetickou zkouškou (MT) – kritéria pro vyhodnocení jsou taktéž stanovena výkresovou dokumentací. V případě zjištění nepřipustných vad jako jsou nespojitosti, póry nebo trhliny, musí být vady opraveny a opakovaně zkontrolovány NDT.

5 Technické a ekonomické vyhodnocení navrhované změny

V této kapitole je sepsán rozpad posouzení technického a ekonomického přínosu navrhované změny z postupu svařování příčných svarů na nájezdových a výjezdových ocelových deskách na postup svařování za využití *Přípravku* a svařování konce příčných svarů do keramických podložek. Jednotlivé rozpady jsem rozdělil do příslušných oblastí a následně vyhodnotil celkový přínos včetně návratnosti investice na výrobu *Přípravku*.

5.1 Materiálové posouzení

Jedná se o porovnání nákladů na vstupní materiál. V případě současného technologického postupu o nájezdovou destičku. U navrhované změny se jedná o vstupní nakupovaný materiál keramické podložky pod označením CBM 8061. Jednotlivé materiálové vyčíslení nákladů je uvedeno v tabulce 12.

Tabulka 12 - Materiálové posouzení úspory.

Cena použitých nájezdových desek na výložníku ZX 350-5B				
Typ nájezd. destičky	Cena za ks	Využití 1 ks nájezdové desky 2x (ze 2 stran) *	Počet ks na výložníku	Cena celkem
V14-SN	56,93 Kč	28,47 Kč	4 ks	113,86 Kč
V16-SN	60,60 Kč	30,30 Kč	2 ks	60,60 Kč
V20-SN	64,67 Kč	32,34 Kč	6 ks	194,01 Kč
Celková cena za nájezdové desky				368,47 Kč
Cena použitých keramických desek na výložníku				
Typ keramiky	Cena za ks	Celkový počet potřebných keramických podložek pro 6x příčných svarových spojů		Cena celkem
CBM 8061	2,45 Kč	24 ks		58,80 Kč
Celková cena za keramické podložky				58,80 Kč
Cenový rozdíl v použitém pomocném materiálu pro svařování				
Cena ocelových nájezdových destiček				368,47 Kč
Cena keramických nájezdových destiček				58,80 Kč
Úspora při použití keramických nájezdových destiček				309,67 Kč

* V případě, kdy nájezdová destička je vyrobena z jednoho dílce, je možné ve výrobě využít desku dvakrát. Docílíme toho tak, že náběh svaru započneme v polovině nájezdové desky a ukončení svaru zakončíme v polovině výjezdové desky. Následně po odstranění desek je při dalším použití otočíme, přistěhujeme ke svařenci druhou stranou. Parametrem pro toto využití je min. délka desek o rozměru 5 mm.

5.2 Posouzení pracnosti

Tato kapitola se zabývá porovnáním nákladů pracnosti na broušení a svařování u současné a navrhované technologie. Při použití navrhované technologie docílíme více než desetinásobného snížení výrobního času pracnosti za broušení. Zásadní rozdíl spočívá v tom, že u navrhované technologie není broušen povrch z boční strany horní/spodní pásnice výložníku po odstranění ocelové nájezdové/výjezdové destičky z toho důvodu, že ocelová destička je nahrazena keramickými podložkami. Vyčíslení těchto nákladů je uvedeno v tabulce 13.

Tabulka 13 - Broušení - posouzení úspory.

Náklady odbroušení 1ks ocelové nájezdové desky					
	Čas Ta	Počet míst na výložníku	Celkový čas	Orientační sazba za hodinu	Cena celkem
<i>Broušení</i>	<i>10,2 min</i>	<i>12</i>	<i>2,04 hod</i>	<i>370,00 Kč</i>	<i>754,80 Kč</i>
Náklady na broušení svaru 1ks keramické nájezdové desky					
	Čas Ta	Počet míst na výložníku	Celkový čas	Orientační sazba za hodinu	Cena celkem
<i>Broušení</i>	<i>1 min</i>	<i>12</i>	<i>0,2 hod</i>	<i>370,00 Kč</i>	<i>74,00 Kč</i>
Cenový rozdíl v NDT a odbroušení					
<i>Cena odbroušení při použití ocelových nájezdových destiček</i>					<i>754,80 Kč</i>
<i>Cena broušení při použití keramických nájezdových destiček</i>					<i>74,00 Kč</i>
Úspora při použití keramických nájezdových destiček					680,80 Kč

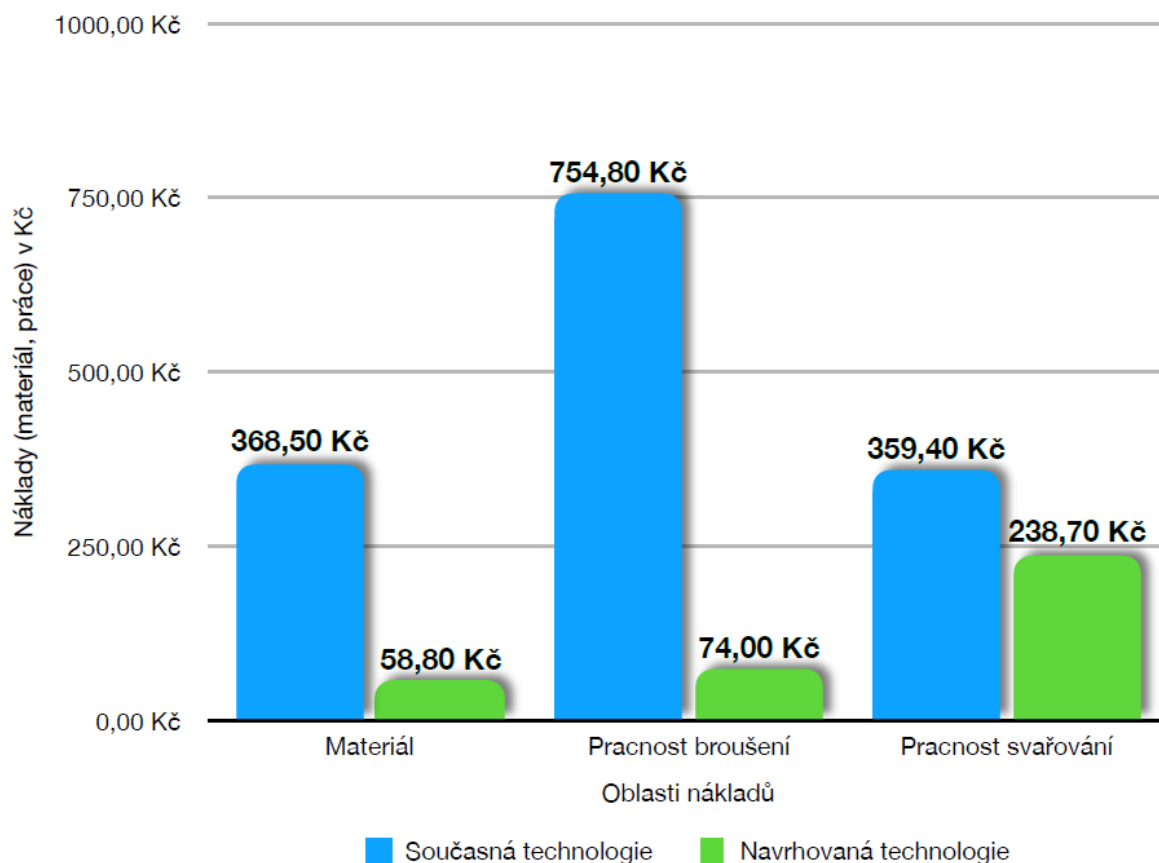
V případě pracnosti svařování se po zavedení navrhované technologie jedná o úsporu vzniklou na základě nesvaření částí svarů mimo svarovou plochu samotného výložníku horní a spodní pásnice, tzn. nájezdových a výjezdových ploch. Toto porovnání úspory při svařování je v následující tabulce 14.

Tabulka 14 - Posouzení pracnosti svařování příčných svarů.

Náklady na svařování při použití ocelových nájezdových desek					
Číslo svaru	Velikost svaru	Dle průřezu svaru z normativu (3mm svarová mezera)	Průměr v Hod.	Orientační sazba za hodinu	Náklady
č.2	16-22V 45°	21,1 min	0,352 hod	410,00 Kč	144,18 Kč
č.5	22V 45°	31,5 min	0,525 hod	410,00 Kč	215,25 Kč
<i>Celková cena za svařování při použití ocelových nájezdových desek:</i>					359,43 Kč
Náklady na svařování při použití keramických nájezdových desek					
Číslo svaru	Velikost svaru	Dle průřezu svaru z normativu (3mm svarová mezera)	Průměr v Hod.	Orientační sazba za hodinu	Náklady
č.2	16-22V 45°	16,75 min	0,279 hod	410,00 Kč	114,45 Kč
č.5	22V 45°	18,16 min	0,303 hod	410,00 Kč	124,23 Kč
<i>Celková cena za svařování při použití keramických nájezdových desek:</i>					238,69 Kč
Cenový rozdíl na svařování u uvedených dvou typů svarů					
<i>Cena na svařování při použití ocelových nájezdových destiček</i>					359,43 Kč
<i>Cena na svařování při použití keramických nájezdových destiček</i>					238,69 Kč
Úspora při použití keramických nájezdových destiček na vytypovaných svarech:					120,74 Kč

5.3 Ekonomický přínos navrhované změny technologie

Porovnání nákladů současné a navrhované technologie svařování je vyobrazeno na Obr. 55 a zahrnuje vyčíslení nákladů jednotlivých oblastí na jeden svařenec výložníku rýpadla. Významný dopad navrhované změny technologie je zejména v materiálové oblasti a snížené pracnosti za broušení.



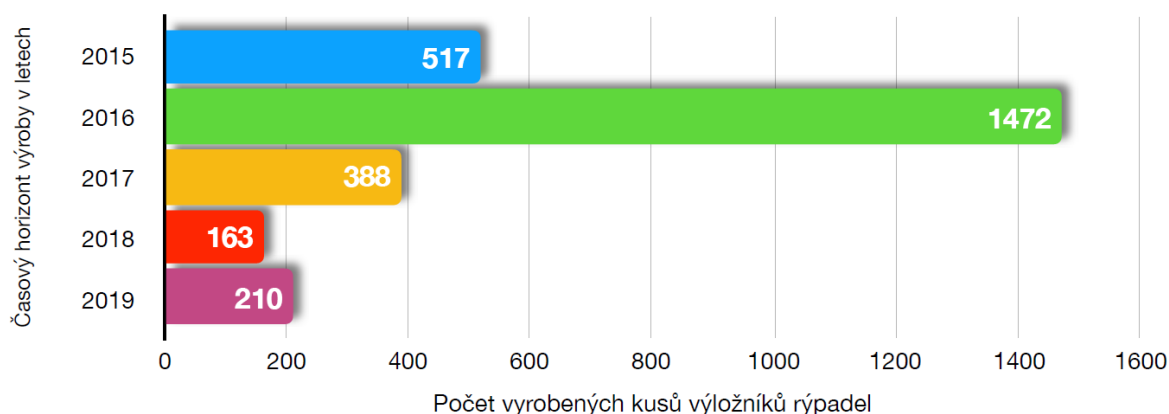
Obr. 55 - Grafické porovnání nákladů současné a navrhované technologie.

Při použití navrhované technologie svařování do keramických podložek za pomoci *Přípravku*, se na jednom *Výrobku* uspoří za nákup či výrobu vstupních materiálu přibližně 310,- Kč. Zkrátí se výrobní čas v provedení u příčných svarů o více než 60 % a zároveň dojde ke snížení pracnosti ve svařování o 33 %. V tabulce 15 je vyčíslena úspora nákladů za jednotlivé oblasti, která v celkovém součtu tvoří úsporu 1 511,- Kč na jeden kus *Výrobku*.

Tabulka 15 - Vyčíslení finančních úspor navrhované změny technologie.

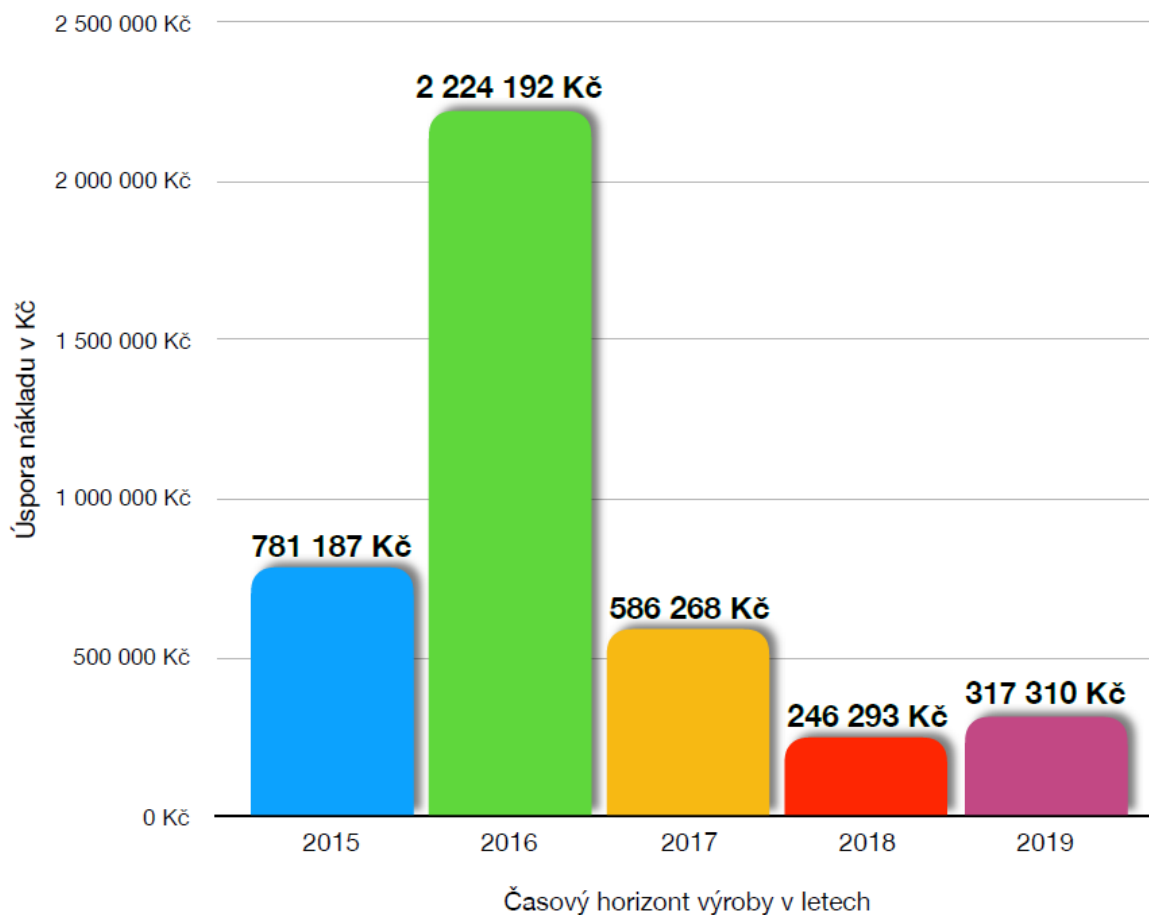
ÚSPORA - REKAPITULACE NÁKLADŮ	
MATERIÁLOVÁ ÚSPORA	
Úspora při použití keramických nájezdových destiček	309,67 Kč
ÚSPORA ZA BROUŠENÍ SVARŮ	
Úspora při použití keramických nájezdových destiček	680,80 Kč
NÁKLADY NA SVAŘOVÁNÍ PŘÍČNÝCH SVARŮ NA PODLOŽKU MĚŘENÉ SVARY	
Úspora při použití keramických nájezdových destiček na odsledovaných svarových spojích	120,74 Kč *
Simulace úspory pro použití na ostatní typy svarů (4x) - 100,-Kč/typ spoje	400,00 Kč **
CELKOVÁ ÚSPORA PŘI POUŽITÍ KERAM. PODLOŽEK NA VÝLOŽNÍKU	
Úspora při použití keramických nájezdových destiček na 1ks výložníku	1 511,21 Kč
* Ve výpočtu úspory na svařování nejsou započítány všechny typy svarových spojů, u kterých lze aplikovat keramické nájezdové desky za pomoci Přípravku. Ověření proběhlo na dvou typech svarových spojů.	
** Simulace úspory pro ostatní svary svařované na keramickou podložku na 1 ks výložníku	

Navrhovaná změna způsobu svařování a její provedení byla odsouhlasena technickým a výrobním úsekem společnosti UNEX a zároveň i koncovým zákazníkem. Změna technologie byla oficiálně započata ve výrobě v 03/2015. Průběžně, z důvodu předzásobení dílců u zákazníka, došlo k poklesu počtu vyráběných kusů mezi rokem 2016 a 2017. Od zavedení navrhované technologie se do 04/2019 vyrobilo celkem 2 614 kusů různých typů Výrobků, na kterých byla navrhovaná technologie svařování aplikována. Přehled počtu vyrobených Výrobků v letech je vyobrazen na Obr. 56. V roce 2019 je vyrobeno 74 ks Výrobků, 72 ks pod objednávkou a dalších 64 ks ve výhledu. Celkem v roce 2019 bude vyrobeno 210 ks Výrobků.



Obr. 56 - Grafický přehled v letech - úspory aplikované technologie svařování.

Na Obr. 57 je následně vyčíslena celková úspora v letech při vyhodnocení celkové úspory 1 511,- Kč na jeden Výrobek.



Obr. 57 - Grafický přehled v letech - úspory aplikované technologie svařování.

5.4 Posouzení návratnosti

V tabulce 16 je uveden souhrn nákladů za jednotlivé nakupované a vyráběné položky. Pracnost na výrobu *Přípravku* je uvedena v tabulce 17. Návratnost na výrobu *Přípravku* byla požadována do jednoho roku. Pro dodržení dodávek potřebných kusů *Výrobků* bylo zapotřebí, aby na výrobní lince byly dostupné minimálně dvě sady *Přípravků*, tzn., že bylo nutné vyrobit celkem 4 ks.

Tabulka 16 - Náklady za nákup a výrobu vstupních materiálů do *Přípravku*.

Poz.	Název pozice	Materiál / Norma	Ks	Cena za jednotku	Celková cena
1	Magnetický držák	Magnet	1	4 999,00 Kč	4 999,00 Kč
2	Čelní deska	S355J2 PLO 50x10 - 72	1	6,69 Kč	6,69 Kč
3	Horní deska	S355J2 PLO 25x6 - 50	1	1,91 Kč	1,91 Kč
4	Vedení	E335GC+C KR pr.12h11 - 32	1	1,11 Kč	1,11 Kč
5	Hrot	E335GC+C KR pr.6h11 - 50	1	0,30 Kč	0,30 Kč
6	Šroub M8 x 60	ČSN 02 1143.55	1	4,27 Kč	4,27 Kč
7	Matice M8	ČSN 02 1401.55	1	0,21 Kč	0,21 Kč
8	Podložka 8.4 M8	ČSN 02 1702.15	1	0,20 Kč	0,20 Kč
9	Šroub M4 x 12	ISO 4762-8.8 Zn	2	0,44 Kč	0,88 Kč
10	Šroub M4 x 16	ČSN 02 1143.55	2	1,46 Kč	2,92 Kč
11	Šroub M4 x 40	DIN 912-10.9 Zn	1	2,45 Kč	2,45 Kč
12	Matice M4	ČSN 02 1401.55	1	0,05 Kč	0,05 Kč
13	Podložka 4,3	DIN 125 A Zn	4	0,16 Kč	0,64 Kč
14	Matice křídlatá M6	DIN 315 - GT Zn	1	0,83 Kč	0,83 Kč
15	Šroub M6 x 16	ČSN 02 1143.55	1	0,40 Kč	0,40 Kč
16	Lepidlo Loctite 243 5ml	- - -	1	120,00 Kč	120,00 Kč
Souhrn celkových nákladů za materiál:					5 141,86 Kč

Tabulka 17 - Náklady za pracnost na výrobu kompletního *Přípravku* ve výrobě.

Ozn.	Název pracoviště	Cena
1	Zámečnické operace	525,00 Kč
2	Strojní opracování	960,00 Kč
Souhrn celkových nákladů za pracnost ve výrobě:		1 485,00 Kč

Souhrnné náklady na výrobu jednoho *Přípravku* činily **6 627,- Kč**. Celkové náklady pro dvě sady odpovídají částce **26 507,- Kč**.

Při úspoře **1 511,- Kč** při aplikaci navrhované technologie svařování, je návratnost *Přípravku* po výrobě 18 ks *Výrobků*. Během měsíce 03/2015 bylo vyrobeno celkem 71 ks *Výrobků* a tomu odpovídala návratnost investice méně než 8 dní.

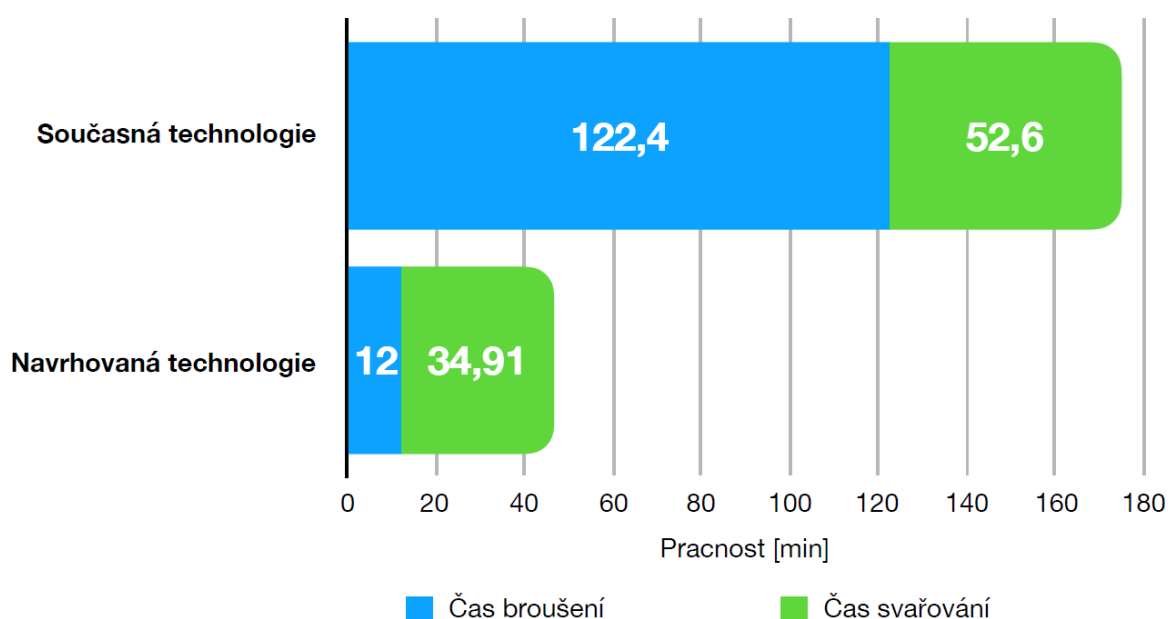
5.5 Vyhodnocení přínosů a případných rizik navrhované technologie

5.5.1 Přínosy

Aplikováním navrhované technologie svařování získáme mnoho přínosů z pohledu ekonomického, tak i technického.

Mezi přínosy navrhované technologie patří:

- Výrazné zefektivnění výkonu práce při broušení svarů, čímž dojde ke značné úspoře jak časové, tak i spotřeby použitého materiálu, a to brusných kotoučů, až o desetinásobek.
- Úspora nákladů na vstupní materiál, kdy ocelové nájezdové a výjezdové desky jsou nahrazeny keramickými podložkami o 84 %.
- Zvýšení efektivity výkonu práce při svařování příčných svar do keramických podložek za pomoci *Přípravku* o 34 %.



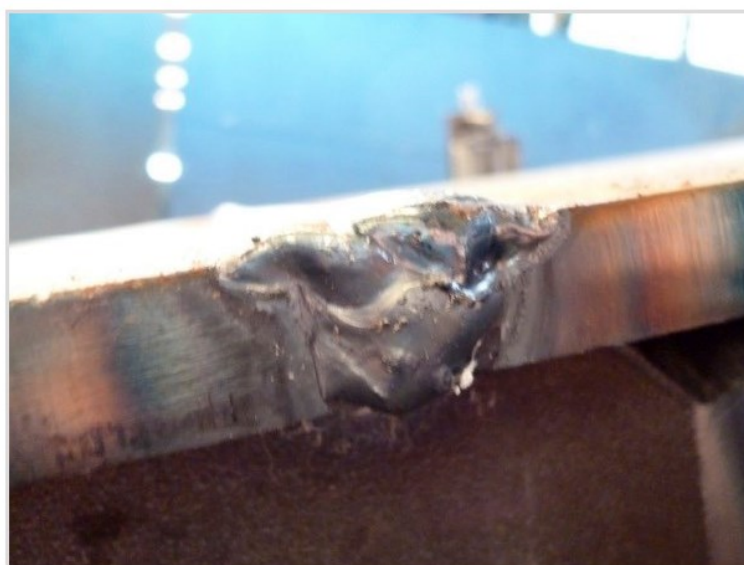
Obr. 58 - Grafické porovnání pracností současné a navrhované technologie.

5.5.2 Rizika

Navrhovaná technologie svařování přináší i určitá rizika, která se mohou objevit vlivem samotné technologie ručního svařování a tím spojených praktických dovedností svářečského pracovníka.

Mezi rizika navrhované technologie patří:

- Možný výskyt vnitřních trhlin, pórů a vrubů u konců svarů po odstranění keramické podložky. Tyto vady je nutné odstranit broušením, následně tato vybroušená místa zavařit, opětovně zabrousit a zkontrolovat magnetickou zkouškou,
- nedostatečné vysušení použitých keramických podložek,
- při pravidelném používání může dojít k opotřebení některých součástí *Přípravku*, např. vlivem tepla z procesu svařování,
- z důvodu velikosti *Přípravku* hrozí riziko ztráty a odcizení ve výrobě,
- nutné čištění magnetu v případě zanesení železným prachem.



Obr. 59 - Nevyhovující výsledné provedení konce svarového spoje.

6 Závěr

Cílem této práce byl k současné výrobě výložníků rýpadel, návrh přípravku pro nájezdové plochy k technologii svařování 135-GMAW. U této technologie byla provedena charakteristika, která byla použita během svařování příčných svarů spodní a horní pásnice výložníku rýpadla. Zároveň byly provedeny analýzy používaných podložek pod svar a rizika koncových vad ve svarovém spoji. Dále byl vypracován návrh *Přípravku* pro nájezdové a výjezdové plochy a ověřena jeho funkčnost na experimentálních zkušebních spojkách.

Přípravek byl navržen s ohledem na životnost a opakovatelnou použitelnost ve výrobě s cílem jednoduchého ustavování s použitím magnetu. Po vyrobení, byl *Přípravek* odzkoušen na *Výrobci*ch a zároveň byly zaznamenány parametry svařování. Během praktických zkoušek s různými svářečskými pracovníky byly použity různé parametry a nastavení na svařovacích zdrojích. Kvalitativní provedení svaru bylo podmíněno dostatečnou praktickou zručností svářeče. Při prvotních zkouškách byly výsledky ukončení svarů kvalitativně nevyhovující. Nejčastěji objevenou vadou byly zápaly a vruby. Při dalších praktických zkouškách byly výsledky shledány jako vyhovující. Bylo prokázáno, že na výslednou kvalitu svaru mělo také vliv řádné vysušení keramických podložek v peci.

Na základě ověřených parametrů svařování, které jsou sepsány v praktické části, byla revidována svařovací návodka, do které byly tyto parametry zapsány. Při dodržování podmínek svařovací návodky je zabezpečen předpoklad kvalitního provedení svarového spoje. Během sledování ve výrobě se občas projevil nevyhovující výsledek provedení svaru, ale zpravidla tak bylo způsobeno ruční prací svářeče. Zároveň proběhla během užívání *Přípravku* výměna dvou ustavujících hrotů, které byly znehodnoceny vlivem tepla ze svařování.

Z ekonomického pohledu byla ověřena návratnost investice do výroby *Přípravků* a vyčíslena úspora, která při aplikaci navrhované změny za období 4 let přesáhla hodnotu 3,9 milionu Kč.

7 Seznam použité literatury

- [1] **UNEX, a.s.** *Profil společnosti* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z:
<http://www.unex.cz/cs>
- [2] **HAYDEN CORP.** [Online]. *Gas Metal Arc Welding*. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z:
<http://www.haydencorp.com/manual-welding-capabilities/#gmaw>
- [3] **AMBROŽ, O., KANDUS, B. a KUBÍČEK, J.** *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Zeross, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
- [4] **ASM.** *Handbook vol. 6. Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.
- [5] **EWI.** [Online]. *We Manufacture Innovation*. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z:
<https://ewi.org/gas-metal-arc-welding-basics-welding-current-welding-voltage/>
- [6] **HALVERSON CTS.** [Online]. *Welding procedures*. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z:
<http://www.halversoncts.com/97-welding-procedures.html>
- [7] **HUNTINGDON FUSION TECHNIQUES.** [Online]. *Mechanical Weld Backing Methods for Overcoming Weld Skill Limitations*. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z:
https://www.huntingdonfusion.com/images/stories/Technical_Papers/Technical_documents/TP-1063_ABT-Mechanical_Welding_Backing_Methods- WEB.pdf
- [8] **EUROWELD GROUP.** [Online]. *Ceramic Backings and their Applications*. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: http://www.euroweldgroup.it/wp-content/uploads/2016/01/BOEHLER_Ceramic_backings_and_their_applications.pdf
- [9] **ESAB Welding & Cutting.** [Online]. *Supporting Molten Metal*. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: https://www.esabna.com/euweb/sa_handbook/585sa2_16.htm
- [10] **CANTEACH.** [Online]. *Welding Processes - Submerged Arc Welding*. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z:
<https://canteach.candu.org/Content%20Library/20053422.pdf>
- [11] **KOUKAL, J., SCHWARZ, D., HAJDÍK, J.** *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: Zeross, 2009. Svařování. ISBN 978-80-248-2025-5
- [12] **SOCIE, D.** [Online]. *Fatigue of Welds* [cit. 2019-05-12]. Dostupné z:
https://www.efatigue.com/training/Welds_Simple_Methods.pdf
- [13] **KANETEC CO., LTD.** [Online]. *Magnetic products for Machine tool*. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <http://www.kanetec.co.jp/en/products/wkp.html>

8 Seznam příloh

Příloha A	Výkres magnetického upínacího přípravku
Příloha B	Svařovací návodka 90-511 rev.10

Kompletní diplomová práce je v daném rozsahu v elektronické podobě na CD médiu.